

LETTRES
A UNE PRINCESSE
D'ALLEMAGNE
SUR DIVERS SUJETS

DE

PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

TOME TROISIÉME



LONDRES

CHEZ LA SOCIÉTÉ TYPOGRAPHIQUE.

M. DCC. LXX. V.





TABLE
DES MATIÉRES
DU
TOME TROISÉME.

FIN DE LA TABLE DES MATIÉRES DU TOME III.



LETTRES
ÉCRITES
A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE
SUR DIVERS SUJETS
DE
PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

LETTRE CLV.

MADAME,

VOTRE ALTESSE jugera, ſans-doute, qu'il eſt tems de quitter l'électricité; auſſi n'ai-je plus rien à dire ſur ce ſujet; mais je ne ſuis pas ſans embarras pour trouver une matiére digne de votre attention.

Je crois que pour ce choix, je dois avoir égard aux matiéres qui intéreſſent le plus nos connoiſſances, & dont les écrivains parlent ſouvent; matiéres, ſur leſquelles on peut prétendre, que les perſonnes de qualité ſoient ſuffiſamment inſtruites.

V. A. ayant ſans-doute ſouvent entendu parler du fameux problème des longitudes, ſur la ſolution duquel les Anglois ont promis de grands prix, je crois que mes inſtructions feront bien placées, quand elles tendront à la mettre au fait de cette queſtion importante, liée ſi étroitement avec la connoiſſance de notre globe qu'il n'eſt pas permis de l'ignorer; ce qui me fournira l'occaſion d'expliquer quantité d'articles intéreſſans, dont l'éclairciſſement fera plaiſir à V. A.

Je commencerai donc par une deſcription générale de la terre, qui peut être regardée comme un globe, quoiqu'on ait trouvé dans ces derniers tems, que ſa véritable figure eſt une ſphéroide tant ſoit peu applatie; mais la diférence eſt ſi petite, que nous pouvons bien la laiſſer de côté.

Nous devons remarquer premiérement ſur le globe terreſtre, les deux points placés ſur ſa ſurface nommés les deux poles de la terre. C'eſt autour de ces deux points, que le globe tourne chaque jour, comme tourneroit un globe qu'on tient fixé entre les deux pointes d'un tour; ce mouvement eſt nommé le mouvement journalier ou diurne de la terre, dont chaque tour s'achève environ en 24 heures. Ou ſi nous voulons parler ſelon les apparences, V. A. ſait que le ciel, que nous regardons comme une boule creuſe au milieu de laquelle ſe trouve la terre, paroît tourner autour d'elle dans le même eſpace de 24 heures; ce

mouvement se fait aussi autour de deux points fixes dans le ciel; qu'on nomme poles du ciel; & si nous concevons une ligne droite tirée d'un des poles du ciel à l'autre, elle passera par le milieu de la terre.

V. A. comprend aisément que les apparences doivent être les mêmes, que la terre tourne autour de ces poles, le ciel restant en repos; ou que le ciel tourne autour de ses poles, la terre demeurant en repos. L'une & l'autre considération nous conduit également à la connoissance des poles de la terre, sur laquelle l'astronomie & la géographie sont fondées.

La *fig.* 1. *Tab. I.* représente le globe de la terre, dont les poles sont les points A & B; l'un de ces poles A est nommé le *pole austral*, ou *méridional*, & aussi *pole antarctique.* L'autre pole *B* est nommé *boréal*, ou *septentrional* soit *pole arctique;* ce dernier est le plus proche des endroits que nous habitons.

Remarquons que ces deux poles sont directement opposés l'un à l'autre; & que si l'on tiroit une ligne droite de l'un A & de l'autre B, en-dedans de la terre, elle passeroit précisément par le milieu C, c'est-à-dire, par le centre de la terre. Cette ligne droite A B porte aussi son nom, & se nomme *axe de la terre*, qui prolongé de part & d'autre jusqu'au ciel, y marquera les points qu'on nomme poles du ciel, & auxquels on donne les mêmes noms qu'à ceux de la terre.

Ces deux poles de la terre ne sont pas une

ſimple fiction, ni une ſpéculation des aſtronomes & des géographes, mais plutôt des points très-eſſenticls, marqués ſur la ſurface de notre terre; car nous ſavons que plus on s'en approche plus les contrées deviennent rudes & froides, deſorte que les pays qui ſont autour ſont abſolument inhabitables, à cauſe du froid exceſſif qui y règne: auſſi ne trouve-t-on pas d'éxemples qu'aucun voyageur ni aucun vaiſſeau ait pu parvenir juſqu'à l'un ou l'autre des poles; on peut donc dire que ces deux endroits de la terre ſont abſolument inacceſſibles.

Ayant ainſi déterminé les deux poles de la terre A & B on la conçoit partagée en deux hémiſphères comme DBE & DAE, dont chacune porte, dans ſon ſommet, l'un des poles. Il faut, pour cet effet, couper la terre par ſon centre C, deſorte que la ſection ſoit perpendiculaire à l'axe de la terre; cette ſection marquera, ſur la ſurface de la terre, un cercle qui paſſe tout autour d'elle, & qui eſt éloigné partout également des deux poles. Ce cercle qui entoure la terre par ſon milieu porte le nom *d'équateur;* les pays qui en ſont près ſont les plus chauds, & prèſqu'inhabitables, à ce que croyoient les anciens, mais aujourd'hui, on les trouve aſſez habités, quoique la chaleur y ſoit prèſqu'inſupportable.

En s'éloignant de l'équateur de part & d'autre vers les poles, les contrées deviennent de plus en plus tempérées, juſqu'à ce que le froid devienne enfin inſoutenable, lorſqu'on s'en approche trop.

Comme l'équateur partage la terre en deux hémisphères, chacun porte le nom du pole qui s'y trouve; ainsi la moitié DBE, qui contient le pole boreal, est nommée *hémisphère boréal*, dans lequel est située l'Europe, prèsque toute l'Asie, une partie de l'Afrique & la moitié de l'Amérique. L'autre hémisphère DAE est nommé *hémisphère méridional* ou *austral*, & contient la plus grande partie de l'Afrique, l'autre moitié de l'Amérique & plusieurs isles, qu'on rapporte à l'Asie, comme V. A. l'aura vu sur la mappe-monde.

le 18 *Août* 1761.

LETTRE CLVI.

APRÈS avoir bien fixé l'idée des poles & de l'équateur, que V. A. peut mieux s'imaginer sur un globe que je ne puis le représenter par une figure, les autres idées dont nous avons besoin en suivront aisément.

Je dois cependant y ajouter encore un plus grand éclaircissement. L'axe de la terre passant d'un pole à l'autre par le centre, est le diamètre du globe de la terre, & par conséquent, deux fois plus grand que le rayon; on estime le rayon de la terre, ou la distance de chaque point de la surface au centre de 860 milles d'Allemagne; l'axe de la terre contiendra donc 1720 milles d'Allemagne. Et l'équateur étant

un cercle dont le centre eſt au centre de la terre, le rayon étant le même que celui de la terre, ſavoir, de 860 milles, le diamètre de l'équateur ſera auſſi de 1720 milles; toute la circonférence de l'équateur contiendra 5400 milles; ou ſi l'on vouloit faire le tour de la terre en ſuivant l'équateur, il faudroit parcourir un chemin de 5400 milles; on peut juger par-là de la grandeur de la terre.

L'équateur étant un cercle, on le diviſe en 360 parties égales, qu'on nomme *dégrés;* un dégré de l'équateur contient donc préciſément 15 milles d'Allemagne, puiſque 15 fois 360 font 5400.

Chaque dégré eſt encore ſubdiviſé en 60 parties égales, qu'on nomme *minutes*, deſorte que chaque minute contient la quatriéme partie d'un mille d'Allemagne, ou environ 6000 pieds; & une *ſeconde*, étant la ſoixantiéme partie d'une minute, contiendra 100 pieds.

Dans l'impoſſibilité de repréſenter ſur le papier un globe autrement que par un cercle, V. A. y ſuppléera par l'imagination. Ainſi, *Tab.* I. *fig.* 2. B, A, étant les deux poles de la terre; B, le boréal & A, l'auſtral; DMNE repréſentera l'équateur, ou plutôt la moitié qui en eſt tournée vers nous, l'autre nous étant cachée de l'autre côté.

La ligne DMNE nous repréſente donc un demi-cercle auſſi bien que BDA & BEA, tous ces demi-cercles ayant leurs centres à celui du globe C. On peut s'imaginer une infinité d'au-

tres demi-cercles, tous tirés par les deux poles A & B de la terre & paſſant d'autant de points diférens de l'équateur qu'il y a de demi-cercles diférens, comme BMA, BNA; ceux-ci ſeront tous ſemblables aux premiers demi-cercles BDA & BEA; quoique dans la figure, leurs traits ſoient très-diférens, l'imagination doit y ſuppléer, car la choſe eſt très-évidente ſur un globe.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pole à l'autre, par quelque point de l'équateur qu'ils paſſent, ſont nommés *méridiens;* ou plutôt, un *méridien* n'eſt autre choſe qu'un demi-cercle qui, ſur la ſurface de la terre, eſt tiré d'un pole à l'autre; & V. A. comprend que, prenant un lieu quelconque ſur la ſurface de la terre, comme le point L, on peut toujours concevoir un méridien BLMA qui, paſſant par les deux poles, traverſe ce lieu L. On nomme alors ce méridien, *le méridien du lieu* L. Si par éxemple L étoit Berlin, le demi-cercle BLMA ſeroit le méridien de Berlin; & ainſi de même par rapport à tous les autres lieux de la terre.

V. A. peut ſe repréſenter un globe, ſur la ſurface duquel ſont deſſinés tous les pays de la terre, le continent auſſi bien que la mer avec ſes isles. Ce globe artificiel, qu'on appelle *globe terreſtre*, ne peut pas être inconnu à V. A. Quant à tous les méridiens, qu'on peut y concevoir, & dont un grand nombre eſt tiré ſur le globe, je remarque, que chacun étant un demi-cercle, eſt partagé par l'équateur en deux

parties égales, dont chacune se trouve être un quart de cercle, c'est-à-dire, un arc de 90 dégrés. Ainsi BD, BM, BN, BE sont des quarts de cercle, aussi bien que AD, AM, AN & AE; chacun contient donc 90 dégrés: on y peut encore ajouter, que chacun est perpendiculaire à l'équateur, faisant avec lui des angles droits.

De plus, si l'on vouloit voyager du point de l'équateur M jusqu'au pole B, le plus court chemin seroit de suivre la route du méridien MLB, qui étant un arc de 90 dégrés, & un dégré contenant 15 milles d'Allemagne, le plus court chemin seroit de 1350 milles, qu'il faudroit parcourir pour aller de l'équateur jusqu'à l'un des poles.

V. A. se souviendra que le plus court chemin d'un lieu à l'autre, est la ligne droite tirée par ces deux lieux; ici la ligne droite tirée du point M de l'équateur jusqu'au pole B tomberoit au-dedans de la terre, route impossible à suivre, parceque nous sommes tellement attachés à la surface de la terre, que nous ne saurions nous en écarter. C'est pourquoi la question devient bien diférente, quand il s'agit du plus court chemin sur la surface d'un globe, qui conduit d'un endroit à l'autre. Ce plus court chemin n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, & dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit

ici ; car pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pole B ; l'arc du méridien MLB, que j'ai dit être le chemin plus court, est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même, si nous considérons le lieu L situé dans le méridien BLMA, le plus court chemin pour aller de-là jusqu'au pole B, sera l'arc LB ; & sachant le nombre de dégrés que cet arc contient, en comptant 15 milles pour chaque dégré, on aura la longueur du chemin. Mais si l'on vouloit aller de ce même lieu à l'équateur, par le plus court chemin, il faudroit suivre la route de l'arc du méridien LM, dont le nombre de dégrés, on comptant 15 milles par chaque, donneroit la longueur du chemin.

On se contente d'exprimer ces chemins par dégrés, puisqu'il est si aisé de les réduire en milles d'Allemagne, & que d'autres nations se servent de milles plus grands ou plus petits. Ainsi, prenant la ville de Berlin pour le lieu L, on trouve que l'arc LM qui conduit à l'équateur, contient 52 dégrés & demi ; par conséquent pour aller de Berlin à l'équateur, le plus court chemin est de 787 milles & demi. Mais si l'on vouloit aller de Berlin au pole boréal ou septentrional B, il faudroit suivre la route de l'arc BL, qui contenant 37 dégrés & demi, sera 562 milles & demi. Ces deux chemins donnent ensemble 1350 milles pour la longueur de l'arc BLM, qui est un quart de cercle de

90 dégrés, dont la valeur eſt, comme nous avons vu, de 1350 milles d'Allemagne.

le 22 Août 1761.

LETTRE CLVII.

Je commence encore par la même figure, *Tab. I. fig.* 3. qui ſera déja bien familiére à V. A. Le cercle entier repréſente le globe de la terre; les points A & B, ſes deux poles; B le pole boréal, ſeptentrional ou arctique; A le pole auſtral, méridional, ou antarctique; deſorte que la ligne droite B A tirée au-dedans de la terre & paſſant par ſon centre C ſoit l'axe de la terre. Enſuite D M E eſt l'équateur qui la diviſe en deux hémiſphères, l'un D B E boréal & l'autre D A E méridional.

Conſidérons maintenant un lieu quelconque L & tirons ſon méridien B L M A, qui étant un demi-cercle, paſſe par ce lieu L & par les deux poles B & A. C'eſt donc le méridien du lieu L, partagé par l'équateur en M en deux parties égales faiſant deux quarts de cercle, dont chacun contient 90 dégrés. Enſuite je remarque que l'arc L M de ce méridien nous donne la diſtance du lieu L à l'équateur, & que l'arc L B exprime la diſtance du même lieu L au pole B.

Cela poſé, il eſt bon de remarquer que l'arc

LM, ou la diſtance de L à l'équateur eſt nommé la *latitude du lieu* L; deſorte que la latitude d'un lieu ſur la terre n'eſt autre choſe que l'arc du méridien de ce lieu, qui eſt intercepté entre l'équateur & le lieu propoſé; ou bien la latitude d'un lieu eſt la diſtance de ce lieu à l'équateur, en exprimant cette diſtance par dégrés, dont nous connoiſſons la valeur puiſque chaque dégré contient 15 milles d'Allemagne.

V. A. comprend aiſément, qu'il faut diſtinguer cette diſtance, ſelon que le lieu ſe trouve ou dans l'hémiſphère boréal, ou dans l'hémiſphère auſtral; dans le premier cas, ſi le lieu propoſé eſt dans l'hémiſphère boréal ou *ſeptentrional*, on dit qu'il a une *latitude boréale*; mais s'il eſt dans l'hémiſphère auſtral ou méridional, on dit que ſa *latitude* eſt *méridionale.*

Ainſi, quand il eſt queſtion de Berlin, on dit que ſa latitude boréale eſt de 52 dégrés & 31 minutes; la latitude de Magdebourg eſt auſſi *boréale* de 52 dégrés & 19 minutes. Mais celle de Batavia aux Indes orientales eſt *méridionale* de 6 dégrés 15 minutes; & celle du Cap de bonne eſpérance en Afrique eſt auſſi *méridionale* de 34 dégrés 15 minutes.

Je remarque ici en paſſant, que pour abréger, au lieu du mot *dégré* on met un petit zéro (°) au-deſſus du nombre, & au lieu du mot *minute* une petite barre (′), & s'il y a des *ſecondes*, on en met (″); c'eſt ainſi que la latitude de Paris à l'obſervatoire eſt 48° 50′. 10″ B. ce qui veut dire 48 dégrés, 50 minutes & 10 ſe-

condes boréales. Il y a au Pérou un endroit nommé Vlo, dont on a trouvé la latitude de 17°. 36′. 15″. M. ou bien 17 dégrés 36 minutes & 15 ſecondes méridionales. D'où V. A. comprend, que ſi l'on parloit d'un lieu, dont la latitude fût 0°. 0′. 0″. ce lieu ſeroit préciſément ſous l'équateur, puiſque ſa diſtance de l'équateur eſt zéro ou nulle; & il n'eſt pas néceſſaire d'y ajouter la lettre B, ou M. Mais ſi l'on parvenoit à un lieu, dont la latitude fut 90° B, ce lieu ſeroit préciſément le pole boréal même de la terre, qui eſt éloigné de l'équateur d'un quart de cercle ou de 90 dégrés. V. A. entendra parfaitement à préſent, ce que c'eſt que la latitude d'un lieu, & pourquoi on l'exprime par dégrés, minutes & ſecondes.

Il eſt très important de connoître la latitude de chaque lieu, non-ſeulement pour aſſigner à chacun ſa vraie place ſur les cartes géographiques, mais parce que c'eſt d'elle que dépendent les ſaiſons de l'année, l'inégalité des jours & des nuits, & par conſéquent la température des lieux. Il n'y a prèſque point de variation dans les ſaiſons pour les endroits ſitués ſous l'équateur même, & pendant toute l'année les jours & les nuits y ſont de même durée, ſavoir de 12 heures; c'eſt pourquoi l'équateur eſt auſſi nommé la ligne équinoctiale; mais plus on s'éloigne de l'équateur, plus la diférence entre les ſaiſons de l'année devient marquée, & plus auſſi les jours ſur-

paſſent les nuits en été, & réciproquement, en hyver, les jours ſont plus courts que les nuits.

V. A. ſait que les plus longs jours ſont au commencement de l'été vers le 12 de Juin: conſéquemment les nuits ſont alors les plus courtes; au commencement de l'hyver au contraire, vers le 23 de Décembre, les jours ſont les plus courts & les nuits les plus longues: de maniére que, par-tout, le plus long jour eſt égal à la plus longue nuit. Or en chaque lieu, la durée du plus long jour dépend de la latitude du lieu. Le plus long jour à Berlin eſt de 16 heures 38 minutes, & par conſéquent le plus court en hyver eſt de 7 heures 22 minutes. Aux endroits plus près de l'équateur, ou dont la latitude eſt moindre que celle de Berlin, qui eſt 52°. 32′, le plus long jour en été a moins de 16 heures 38 minutes, & en hyver le jour le plus court a plus de 7 heures 22 minutes. Il arrive le contraire aux endroits plus éloignés de l'équateur; à Petersbourg, par éxemple, dont la latitude eſt 60 dégrés, le plus long jour eſt de 18 heures 30 minutes & par conſéquent la nuit n'eſt alors que de 5 heures 30 minutes; en hyver au contraire la nuit la plus longue y eſt de 18 heures 30 minutes & le jour n'eſt alors que de 5 heures 30 minutes. Si l'on s'éloigne encore davantage de l'équateur, & qu'on parvienne à un lieu dont la latitude ſoit de 66°. 30′, le plus long jour y eſt préciſément de 24 heures, ou bien le ſoleil ne s'y couche

pas alors; tandis qu'en hyver le contraire arrive, le soleil ne s'y levant point du tout le 23 Décembre, & la nuit durant alors 24 heures. Or dans les lieux encore plus éloignés de l'équateur & conséquemment plus proches du pole, comme Warthuys dans la Laponie suédoise, ce plus long jour de 24 heures y dure plusieurs jours de suite, pendant lesquels le soleil ne se couche absolument pas; & la plus longue nuit, où le soleil ne se lève pas du tout, est de la même durée.

Si nous pouvions arriver au pole même, nous y aurions du jour pendant six mois de suite, & pendant les six autres une nuit continuelle. V. A. doit en conclurre combien il est important de bien connoître la latitude de tous les lieux de la terre.

le 22 *Août* 1761.

LETTRE CLVIII.

AYANT eu l'honneur de dire à V. A. que pour trouver le méridien d'un lieu proposé L, il faut tirer sur la surface de la terre un demi-cercle BLMA, qui passe par les deux poles B & A, & par le lieu proposé L; je remarque *Tab. I. fig.* 4. qu'il y a une infinité d'autres endroits par lesquels ce même méridien passe, & qui par conséquent sont

dits tous ſitués ſous le même méridien, ſoit dans l'hémiſphére boréal entre B & M, ſoit dans l'hémiſphère méridional ou auſtral entre M & A.

Or tous les lieux ſitués ſous un même méridien diférent en latitude, les uns étant plus proches ou plus éloignés de l'équateur que les autres. C'eſt ainſi que le méridien de Berlin paſſe par la ville de Meiſſe, à-peu-près par le port de Trieſte, & par quantité d'autres lieux moins remarquables.

V. A. voit auſſi que bien des lieux peuvent avoir la même latitude, ou être également éloignés de l'équateur, mais qu'ils ſont tous ſitués ſous des méridiens diférens. En effet, ſi L eſt la ville de Berlin, dont la latitude ou l'arc L M contient 52°. 31′, on peut aſſigner ſous tout autre méridien B N A, un lieu I, dont la latitude ou l'arc I N eſt auſſi 52°. 31′; ces lieux ſont auſſi les points F & G pris dans les méridiens B D A & B E A. Comme donc on peut tirer par chaque point de l'équateur un méridien, dans lequel il y aura un endroit dont la latitude ſera la même que celle de Berlin ou du lieu L, on aura une infinité de lieux, qui auront tous la même latitude. Ils ſeront tous ſitués dans un cercle F L I G, dont les points étant tous également éloignés de l'équateur, il eſt nommé *cercle parallele* à l'équateur, ou ſimplement un *parallele*. Un parallele ſur la terre n'eſt donc autre choſe qu'un cercle parallele à l'équateur,

ou dont tous les points en ſont également éloignés; d'où il eſt clair que tous les points d'un parallele ſont auſſi également éloignés des poles de la terre.

Comme on peut tirer dans chaque lieu de la terre un tel parallele, on peut en concevoir une infinité, qui diférent tous entr'eux par rapport à la latitude, chacun aiant une latitude, ſoit boréale, ſoit auſtrale, qui lui eſt propre.

V. A. comprend auſſi que plus la latitude eſt grande, ou plus on approche de l'un des poles, plus les paralleles deviennent petits; juſqu'à ce qu'enfin aux poles mêmes, où la latitude eſt de 90°, ces paralleles ſe réuniſſent dans un ſeul point. Mais, au contraire, plus on approche de l'équateur, ou plus la latitude eſt petite, plus auſſi les paralleles ſont grands, & ils ſe confondent enfin avec l'équateur même, lorſque la latitude eſt zero ou nulle. C'eſt auſſi par la latitude qu'on les diſtingue, ainſi le parallele de 30 dégrés eſt celui qui paſſe par tous les lieux dont la latitude eſt de 30 dégrés, où l'on doit pourtant s'expliquer, ſi l'on parle d'une latitude boréale, ou d'une latitude méridionale.

En conſultant les cartes géographiques, V. A. verra qu'Hanovre eſt ſitué ſous le même parallele que Berlin, la latitude de l'un & de l'autre étant 50° 31′, & que les villes de Brunswig & d'Amſterdam tombent prèſque ſous le même parallele; mais que les méridiens qui

qui paſſent par ces endroits ſont diférens. Or connoiſſant le méridien & le parallele ſous lequel un lieu eſt ſitué, on en fait la véritable place ſur la terre. Si l'on nous diſoit par éxemple qu'un certain endroit eſt ſitué ſous le méridien BNA & ſous le parallele FLG, on n'auroit qu'à voir où le méridien BNA eſt coupé par le parallele FLG, & l'interſection I donnera la véritable place de l'endroit propoſé.

C'eſt de ce moyen dont ſe ſervent les géographes pour déterminer la véritable poſition de tous les endroits de la terre. Il ne s'agit que d'en connoître le parallele, ou la latitude, & le méridien qui lui répond. Pour le parallele, il eſt aiſé de le marquer & de le diſtinguer de tous les autres; on n'a qu'à indiquer la latitude ou la diſtance de l'équateur qui ſera boréale ou méridionale: mais comment pourra-t-on décrire un méridien & le diſtinguer de tous les autres? Ils ſe reſſemblent parfaitement, ils ſont tous égaux entr'eux, & aucun ne porte une marque eſſentielle préférablement aux autres. Il dépend donc uniquement de notre bon plaiſir de choiſir un certain méridien & de le fixer, pour en déduire tous les autres. Si, par éxemple, dans la figure miſe au commencement de cette lettre, on choiſiſſoit le méridien BDA, il ſeroit aiſé de nous donner une deſcription de tout autre méridien comme BMA, on n'auroit qu'à nous indiquer dans l'équateur l'arc DM,

compris entre le méridien fixe B D A & celui dont il eſt queſtion B M A, pourvû qu'on ajoute en quel ſens on doit partir du méridien fixe, pour paſſer à l'autre, ſi c'eſt vers l'orient ou vers l'occident.

On nomme ce méridien fixe, duquel on compte tous les autres, *le premier méridien*, & puiſque le choix de ce premier méridien dépend de notre bon plaiſir, V. A. ne ſera pas ſurpriſe, ſi les diverſes nations ne ſont pas d'accord là-deſſus. Les François ont choiſi pour cet effet l'Isle de Fer qui eſt une des Canaries, & c'eſt de cette isle qu'ils tirent leur premier méridien. Les Allemands & les Hollandois ſont paſſer le leur par une autre isle des Canaries, nommée Ténériffe. Mais ſoit qu'on ſuive les François ou les Allemands, il faut toujours bien marquer ſur l'équateur le point par lequel paſſe le premier méridien, & de ce point on compte enſuite par dégrés, les points par leſquels paſſent tous les autres méridiens, & tant les François que les Allemands ſont d'accord de compter de l'occident vers l'orient.

Si donc le demi-cercle B D A étoit dans notre figure le premier méridien, & que les points de l'équateur M & N fuſſent ſitués vers l'orient, on n'a, pour marquer tout autre méridien B M A, qu'à indiquer la grandeur de l'arc D M, & cet arc eſt ce qu'on nomme la *longitude* de tous les lieux ſitués ſous le méridien B M A. S'il étoit queſtion des lieux

ſitués ſous le méridien B N A; leur longitude ſeroit l'arc de l'équateur D N exprimé en dégrés, minutes & ſecondes.

le 29 *Août* 1761.

LETTRE CLIX.

V. A. eſt bien inſtruite à préſent, ſur ce qu'on nomme la latitude & la longitude d'un lieu ſur la terre. La latitude ſe compte ſur le méridien du lieu propoſé juſqu'à l'équateur, ou bien elle eſt la diſtance du parallele qui paſſe par le lieu propoſé à l'équateur, à quoi, pour ôter toute ambiguité, il faut ajouter ſi cette diſtance ſoit latitude eſt boréale ou méridionale.

Pour la longitude, il faut voir combien le méridien du lieu propoſé eſt éloigné du premier méridien, & on compte cet éloignement ſur l'équateur, depuis le premier méridien juſqu'au méridien propoſé, en allant toujours de l'occident à l'orient; ou bien la longitude eſt la diſtance du méridien du lieu propoſé depuis le premier, en comptant les dégrés ſur l'équateur, comme je viens de le dire.

On compte donc toujours du premier méridien vers l'orient; & V. A. comprend que quand on aura compté juſqu'à 360 dégrés, on retournera préciſément au premier méri-

dien, puiſque 360 dégrés achèvent toute la circonférence de l'équateur : ainſi, quand on parle d'un endroit dont la longitude ſeroit 359 dégrés, le méridien de cet endroit ne ſera éloigné du premier méridien que d'un dégré, mais vers l'oueſt ou l'occident; de même 350° de longitude conviennent avec une diſtance de 10° vers l'oueſt ou l'occident. C'eſt donc pour éviter toute ambiguité, que, dans la détermination des longitudes, on continue de compter juſqu'à 360° vers l'orient.

V. A. ſera ſans-doute curieuſe de ſavoir pourquoi les géographes ſe ſont accordés d'établir le premier méridien par quelqu'une des isles Canaries? J'ai l'honneur de lui répondre, qu'on a voulu ſe règler ſur les limites de l'Europe vers l'occident, & que comme on regarde les isles Canaries, (ſituées dans la mer Atlantique au-delà de l'Eſpagne vers l'Amérique,) comme faiſant encore partie de l'Europe, on a jugé à propos de faire paſſer le premier méridien par la plus réculée des isles Canaries, afin qu'on puiſſe compter les autres méridiens ſans interruption, non-ſeulement par toute l'Europe, mais par toute l'Aſie: d'où, continuant de compter vers l'orient, on parvient en Amérique, & de-là on retourne enfin au premier méridien.

Mais à quelle de ces isles Canaries donner la préférence? Quelques géographes François ont choiſi l'isle de Fer, & les Allemands celle de Ténériffe, parce qu'on n'étoit pas

assez sûr alors de la véritable situation de ces isles, & qu'on ne savoit peut-être pas laquelle étoit plus réculée; d'ailleurs les Allemands ont crû que la montagne nommée Pic de Téné-riffe, étoit pour ainsi dire, marquée par la nature pour y faire passer le premier méridien.

Quoiqu'il en soit, il est prèsque ridicule de faire passer le premier méridien par un endroit dont la situation n'est pas bien connue; car ce n'est que depuis peu de tems, qu'on a mieux déterminé la position des Canaries. En conséquence, les astronomes qui employent le plus d'éxactitude dans leurs recherches, placent le premier méridien, de façon que celui de l'observatoire de Paris en soit précisément éloigné de 29 dégrés, sans se soucier par quel endroit passe alors le premier; c'est sans-doute le plus sûr parti qu'on puisse prendre; & pour bien déterminer tout autre méridien, le meilleur moyen est d'en chercher l'éloignement de celui de Paris; alors si cet autre méridien est plus vers l'orient, on n'a qu'à y ajouter 20 dégrés pour avoir la longitude des lieux qui y sont situés; mais si ce méridien est plus vers l'occident que celui de Paris, on soustrait leur distance de 20 dégrés; enfin si cette distance vers l'occident est de plus de 20 dégrés, on la soustrait de 380 dégrés, soit de 20 dégrés au-delà des 360, pour avoir la longitude du méridien.

Ainsi le méridien de Berlin étant plus vers l'orient que celui de Paris de 11°. 7′, 15″,

la longitude de Berlin sera 31°. 7', 15''; & c'est aussi la longitude de tous les autres lieux qui sont situés sous le même méridien que Berlin.

De même le méridien de Pétersbourg étant plus vers l'orient de 28 dégrés que celui de Paris; la longitude de Pétersbourg sera 48°.

Le méridien de Londres à St. James est plus vers l'occident que celui de Paris de 2°. 25'. 15''; donc en ôtant cette quantité de 20°, le reste 17°. 34'. 45'' donne la longitude de Londres à St. James.

Considérons aussi la ville de Lima au Pérou, dont le méridien est éloigné de celui de Paris de 70°. 9'. 30'' vers l'occident, qu'il faut par conséquent soustraire de 380°; & l'on trouvera la longitude de Lima 309°. 50'. 30''.

Or quand on connoît la latitude & la longitude d'un endroit, on est en état de marquer son vrai lieu sur le globe terrestre, ou sur une carte géographique; car comme la latitude marque le parallele, sous lequel l'endroit est situé, & que la longitude donne le méridien du même lieu, l'endroit où le parallele coupe le méridien, sera exactement le lieu proposé.

V. A. n'a qu'à jetter les yeux sur une carte géographique; par exemple, sur celle de l'Europe; elle verra les dégrés des paralleles marqués des deux côtés, ou leurs distances de l'équateur, &, en haut & en bas,

les dégrés de longitude soit les éloignemens des méridiens du premier méridien.

On trace ordinairement sur les cartes les paralleles & les méridiens, de dégré en dégré, ou seulement de 5 en 5 dégrés. Dans la plûpart des cartes, les méridiens sont tirés de haut en bas, & les paralleles de gauche à droite; le haut est dirigé vers le Nord; le bas vers le Sud, ou le midi: le côté droit vers l'orient ou l'Est; & le côté gauche vers l'occident soit l'Ouest.

Il faut aussi remarquer que, puisque tous les méridiens concourent dans les deux poles, plus deux méridiens approchent d'un pole, plus leur distance sera petite; c'est toujours sous l'équateur, où la distance entre deux méridiens est plus grande. Aussi, sur toutes les bonnes cartes où les méridiens sont tracés, V. A. verra qu'ils s'aprochent toujours vers le haut, le Nord, & que leurs distances deviennent plus grandes en s'approchant de l'équateur: ce qui sert à une meilleure intelligence des cartes géographiques, par lesquelles on a tâché de nous répréfenter la surface ou une partie de la surface du globe.

Mais mon but principal est de démontrer comment la véritable position de chaque lieu de la terre est déterminée par sa latitude & sa longitude.

le 1 Septembre 1761

LETTRE CLX.

Puis qu'il eſt ſi important de connoître la latitude & la longitude de chaque lieu, pour ſavoir à quel point on ſe trouve ſur la ſurface de la terre, V. A. jugera aiſément qu'il l'eſt tout autant de découvrir les moyens propres à nous y conduire.

Il n'y a rien de plus intéreſſant pour un homme qui arrive après un long voyage dans un endroit, ſur terre, ou ſur mer, que d'apprendre en quel lieu de la terre il ſe trouve alors; s'il eſt proche de quelque pays connû, ou non, & quel chemin il faut prendre pour y arriver. Le ſeul moyen de tirer cet homme d'embarras, ſera ſans-doute de lui découvrir la latitude & la longitude du lieu où il eſt: mais que fera-t-il pour parvenir à cette découverte? Suppoſons le ſur mer, ou dans quelque vaſte déſert, où il ne peut conſulter aucun habitant. Après s'être aſſûré au moyen d'un globe terreſtre ou des cartes géographiques de la latitude & de la longitude du lieu où il eſt, il y remarquera aiſément le point de ſa demeure, & ſera en état de tirer tous les éclairciſſemens dont il a beſoin.

Je démontrerai à V. A. que c'eſt l'aſtronomie, qui nous fournit principalement les moyens de connoître la latitude & la longitude du lieu où nous nous trouvons; mais pour

ne pas ennuyer V. A. par le long détail de toutes les méthodes que les aſtronomes ont découvertes pour cet objet important, je me contenterai de lui en préſenter une idée générale, & j'oſe me flatter qu'elle ſera ſuffiſante pour faire comprendre à V. A. les principes ſur leſquels toutes les méthodes ſont fondées.

Je fais d'abord la recherche de la latitude, qui n'eſt prèſque aſſujettie à aucune difficulté, tandis que celle de la longitude ſemble ſurpaſſer encore la portée de l'eſprit humain, ſur-tout lorſqu'on ſe trouve en mer & qu'on éxige la derniére préciſion: c'eſt pourquoi l'on a mis, ſur ſa recherche, des prix très-conſidérables, pour encourager davantage les ſavans à réunir leur capacité & leurs travaux, pour une découverte auſſi importante, qui devient doublement intéreſſante par l'honneur & par le gain qu'elle procurera à l'inventeur.

Je reviens à la latitude & aux moyens de la découvrir, renvoyant à un autre tems de parler plus amplement de la longitude & des diférentes méthodes de la découvrir, ſur-tout en mer.

Que dans la *fig.* 5. *Tab. I.* les points B & A ſoient les poles de la terre; BA ſon axe & C ſon centre; que le demi-cercle B D A repréſente un méridien, coupé par l'équateur au point D, & BD, AD ſeront des quarts de cercle ou des arcs de 90 dégrés. La ligne droite CD ſera donc un rayon de l'équateur & D E ſon diamètre.

Soit maintenant dans ce méridien BDA, le point L, le lieu proposé dont il faut chercher la latitude, ou bien le nombre de dégrés que contient l'arc LD, qui mesure la distance du point L à l'équateur; ou encore, tirant le rayon CL, puisque l'arc CD est la mesure de l'angle DCL que je nommerai *y*, cet angle *y* exprimera la latitude du lieu L qu'il s'agit de trouver.

Or comme il ne nous est pas permis d'entrer au centre de la terre pour y mesurer cet angle, il faut recourir au ciel. C'est là où la prolongation de l'axe de la terre AB mène au pole boréal du ciel P, qu'on doit regarder comme infiniment éloigné de la terre. Qu'on prolonge aussi le rayon LC, qui aboutira dans le ciel au point Z qu'on nomme le zénith du lieu; ensuite tirant par L la ligne droite ST perpendiculaire au rayon CL, V. A. se souviendra que cette ligne ST est une tangente du cercle & qu'elle sera par conséquent horizontale au lieu E: notre horizon touchant toujours la surface de la terre au lieu où nous nous trouvons.

Qu'on regarde maintenant en L vers le pole du ciel P, lequel étant infiniment éloigné, la droite LQ qui y est dirigée, sera parallele à la ligne ABP, ou à l'axe de la terre; ce pole du ciel paroîtra donc entre le zénith & l'horizon LT & l'angle TLQ indiqué par la lettre *m* montrera combien la droite LQ dirigée au pole, est élevée au-dessus de l'horizon; d'où cet angle *m* est nommé *l'élévation du pole.*

V. A. a déja sans-doute assez souvent enten-

du parler de l'élévation du pole, qu'on nomme aussi la *hauteur du pole*, & qui n'est autre chose que l'angle que la ligne droite LQ, dirigée vers le pole du ciel, fait avec l'horizon du lieu où nous sommes. V. A. comprend aisément la possibilité d'observer cet angle *m* par le moyen d'un instrument astronomique, sans que j'aie besoin d'entrer dans un plus grand détail là-dessus.

Quand on aura mesuré cet angle *m*, soit la hauteur du pole, il nous donnera précisément la latitude du lieu L, ou bien l'angle *y*. Pour cet effet il ne faut que faire voir que ces deux angles *m* & *y* sont égaux.

Or la ligne LQ étant parallele à CP, les angles *m* & *n* sont alternes, & conséquemment égaux. Et la ligne LT étant perpendiculaire au rayon CL, l'angle L du triangle CLT sera droit, & les deux autres angles *n* & *x* du même triangle feront aussi un angle droit. Mais puisque l'arc BD est un quart de cercle, l'angle BCD sera aussi droit, les deux angles *x* & *y* font donc autant, étant ajoutés ensemble, que les deux angles *n* & *x*. Otons de part & d'autre l'angle *x*, alors l'angle *y* sera égal à l'angle *n*, & par conséquent aussi à l'angle *m*.

J'ai déja fait remarquer, que l'angle *y* exprime la latitude du lieu L, & l'angle L, l'élévation ou la hauteur du pole au même endroit L; donc la latitude d'un endroit est toujours égale à la hauteur du pole à ce même endroit. Les moyens que l'astronomie nous fournit, pour

observer la hauteur du pole, nous donnent donc la latitude que nous cherchons.

C'eſt ainſi que les obſervations aſtronomiques faites à Berlin, nous ont appris, que la hauteur du pole y eſt 52° 31′, & nous en avons conclu que la latitude y eſt auſſi 52° 31′.

C'eſt un éxemple bien remarquable, comment le ciel peut nous éclaircir ſur des choſes qui ne ſont rélatives qu'à la terre.

le 5 Septembre 1761.

LETTRE CLXI.

JE paſſe maintenant à la longitude, & je remarque, qu'en partant par mer ou par terre d'un lieu connu, on pourra trouver aiſément la longitude du lieu où l'on ſera parvenu, ſi l'on connoît éxactement la longueur du chemin & la route qu'on a tenue; elle peut même ſe trouver alors ſans le ſecours de l'aſtronomie, & cela mérite bien que je m'explique plus diſtinctement à V. A.

On meſure la longueur du chemin par pieds, on ſait combien de pieds il faut pour un mille, & combien de milles pour un arc d'un dégré de la terre: c'eſt ainſi qu'on pourra exprimer par dégrés le chemin qu'on aura fait.

Pour la route ou la direction du chemin, il faut bien connoître la poſition du méridien à

chaque lieu où l'on ſe trouve. Comme le méridien va d'un côté au pole boréal, ou vers le nord, & de l'autre au pole méridional, ou vers le ſud; on n'a qu'à tirer ſur l'horizon où l'on ſe trouve, une ligne droite du nord vers le ſud, qu'on nomme la *ligne méridienne* de ce lieu. Il faut ſe donner toutes les peines poſſibles pour tracer bien éxactement cette ligne méridienne, & c'eſt où le ciel doit encore nous ſervir de guide.

V. A. ſait qu'il eſt midi, quand le ſoleil ſe trouve le plus élevé au-deſſus de l'horizon; or c'eſt alors que le ſoleil ſe trouve préciſément vers le ſud, & l'ombre d'un bâton fixé perpendiculairement ſur un plan horizontal, tombera à l'inſtant préciſément vers le nord; d'où il eſt aiſé de comprendre, comment les obſervations du ſoleil nous fourniſſent les moyens de bien tracer la ligne méridienne, en quelque lieu que nous nous trouvions.

Ayant tracé la ligne méridienne, toutes les autres directions ou routes ſont aiſément déterminées.

Soit dans la figure ci-jointe, *Tab. I. fig. 6.* la ligne droite NS la méridienne, l'éxtrêmité N étant dirigée vers le nord & le bout S vers le ſud. A cette méridienne NS, qu'on tire perpendiculairement la droite OW, dont l'extrêmité O ſera dirigée vers l'orient, qu'on nomme *oſt* en allemand, & l'autre extrêmité W vers l'occident, qu'on nomme *weſt.* Après avoir diviſé le cercle en ſeize parties égales, on au-

ra autant de directions nommées par les lettres, y-jointes, & en cas qu'on ſuive une route qui ne convienne pas éxactement avec une de ces ſeize, on marque l'angle qu'elle fait avec la méridienne NS, ou avec la ligne OW qui lui eſt perpendiculaire.

C'eſt par ce moyen qu'on pourra connoître éxactement la route qu'on tient en voyageant; & toutes les fois qu'on eſt bien aſſuré de la longueur du chemin, & de la route qu'on aura ſuivie, il eſt fort aiſé de déterminer le vrai lieu ou l'on ſera parvenu, & d'en aſſigner même tant la latitude que la longitude. On ſe ſert pour cela d'une bonne carte géographique qui contienne le lieu d'où l'on eſt parti, & celui où l'on eſt arrivé; & moyennant l'échelle qui marque la grandeur d'un mille, on pourra tirer ſur cette carte le chemin qu'on aura parcouru.

La figure ci-jointe *Tab. I. fig.* 7. repréſente une carte où ſont marqués par dégrés les paralleles de gauche à droite & les méridiens de haut en bas, & l'on y voit auſſi, que les méridiens ſont plus proches les uns des autres en haut vers le nord, qu'en bas vers le ſud; comme cela eſt ſur la terre.

Cette carte renferme une partie de la ſurface de la terre depuis 53 dégrés de latitude boréale, juſqu'au 59e dégré; & depuis 13 dégrés de longitude juſqu'au 26e dégré.

Suppoſons donc qu'on ſoit parti du lieu L, dont la longitude eſt 16° & la latitude 57° 20′ & qu'on ait tenu la route OSO ſur laquelle

on ait parcouru un chemin de 75 milles d'Allemagne. Pour trouver la longitude & la latitude du lieu où l'on fera parvenu, on tire du lieu L la ligne droite LM, qui faffe avec le méridien 16, 16, le même angle que fait dans la figure précédente la direction OSO avec N. Enfuite, fur cette ligne, qu'on prenne felon l'échelle marquée dans la carte LM de 75 milles d'Allemagne, & le point M fera le lieu ou l'on fera parvenu.

On n'a puis qu'à comparer ce lieu avec les méridiens & les paralleles tracés fur la carte, & l'on verra que fa longitude tombe très-près du 24e dégré, & en mefurant plus éxactement la partie du dégré à ajouter au 24e dégré, on trouvera la longitude du point M de 24° 4'. Pour la latitude, on voit qu'elle fe trouve en tre le 55e & 56e dégré, & on l'eftimera aifément de 55° 25'; deforte que du lieu M, où l'on eft parvenu, la latitude eft 55° 25' & la longitude 24° 4'.

J'ai fuppofé ici qu'on a fuivi pendant tout le voyage la même route, marquée OSO; mais fi l'on changeoit de route de tems en tems, on n'auroit qu'à faire pour chaque changement la même opération, pour trouver le lieu où l'on a été alors, & enfuite, de ce lieu, on tracera la route fuivante, jufqu'à ce qu'on l'ait changée de nouveau, & ainfi de fuite, jufqu'à ce qu'on arrive au dernier endroit. Par ce moyen on fera toujours en état dans les voyages de connoitre les lieux où l'on arrive, pourvu qu'on

ſache toujours éxactement la route qu'on tient, & qu'on meſure auſſi éxactement le chemin qu'on parcourt.

On pourroit même ſe paſſer alors des ſecours de l'aſtronomie, à moins qu'on n'en eut beſoin pour connoître au juſte la route, ou l'angle qu'elle fait avec la méridienne; mais l'aiguille aimantée ou la bouſſole peut ſouvent ſuppléer à ce beſoin.

V. A. ſent cependant bien, qu'on peut ſe tromper conſidérablement dans l'eſtime de la route & de la longueur du chemin, ſur-tout dans de fort longs voyages. Combien de fois ne faut-il pas changer de route d'ici à Magdebourg ſeulement? & comment meſurer éxactement la longueur du chemin? Mais quand le voyage ſe fait par terre, on n'eſt pas réduit à cet expédient; on eſt en état de meſurer par des opérations géométriques les diſtances des lieux, & les angles que les diſtances font avec la méridienne de chaque endroit; & c'eſt par ce moyen qu'on détermine aſſez éxactement la véritable ſituation de tous les lieux.

le 8 *Septembre* 1761.

LETTRE CLXII.

La méthode d'obſerver la route qu'on tient, & la longueur du chemin parcouru, ſemble être d'un très-grand ſecours dans les voyages par

par mer, parcequ'on n'y eſt pas obligé de changer de route à tout moment, comme quand on voyage par terre; car tant qu'on a le même vent, on peut pourſuivre la même route.

Auſſi les pilotes qui dirigent les vaiſſeaux, ſont-ils très-attentifs à obſerver éxactement la route que tient le vaiſſeau, & à meſurer le chemin qu'il parcourt; ils tiennent un journal éxact de toutes ces obſervations, & à la fin de chaque jour, & plus ſouvent encore, ils tracent ſur leurs cartes marines le chemin qu'ils ont parcouru, & ſont en état par ce moyen de marquer ſur les cartes pour chaque tems, le point où ils ſe trouvent, & dont ils connoiſſent par conſéquent la latitude & la longitude. Auſſi tant que le cours ſe fait réguliérement, & que le vaiſſeau n'eſt pas agité par quelque tempête, les pilotes ne s'y trompent guères: mais quand ils ſont en doute, ils ont recours aux obſervations aſtronomiques, d'où ils tirent la hauteur du pole, qui étant toujours égale à la latitude du lieu où ils ſe trouvent, ils la comparent avec celle qu'ils ont marquée ſur la carte, conformément à l'eſtime du chemin. S'ils la trouvent d'accord, leur eſtime eſt juſte; s'ils découvrent quelque diférence, ils en concluent avec certitude qu'ils ſe ſont trompés dans l'eſtime du chemin & de la route; ils éxaminent alors l'un & l'autre plus ſoigneuſement, & tâchent d'y apporter les corrections néceſſaires, pour accorder l'eſtime avec l'obſervation de la hauteur du pole, ou de la latitude qui lui eſt égale.

Cette précaution peut être ſuffiſante dans de petits voyages, parceque les erreurs qu'on y commet n'y ſont prèſque d'aucune conſéquence, mais dans des voyages de long cours, ces petites erreurs peuvent s'accumuler au point, qu'à la fin, on ſe trompe très-groſſiérement, de maniére que le lieu où l'on ſe trouve effectivement difère conſidérablement de celui où l'on s'imagine ſe trouver ſur la carte.

J'ai ſuppoſé juſqu'ici que le voyage ſe fait aſſez paiſiblement: mais s'il ſurvient une tempête, pendant laquelle le vaiſſeau eſt aſſujetti aux plus fortes ſecouſſes du vent & des flots; il eſt bien clair que l'eſtime de la longueur du chemin & de la route eſt entiérement dérangée, & qu'il n'eſt plus poſſible de tracer ſur la carte le chemin qu'on aura parcouru.

On pourroit bien déterminer par des obſervations aſtronomiques, après ce dérangement, la latitude du lieu où l'on ſe trouve, mais cela ne découvriroit que le parallele de ce lieu, & on reſteroit toujours très-incertain ſur le point de ce parallele qui répond au lieu du vaiſſeau.

Il faut donc reconnoître auſſi la longitude du lieu, qui nous montre le méridien ſous lequel il eſt ſitué: & alors l'interſection de ce méridien avec le parallele trouvé, donnera le véritable endroit du vaiſſeau. V. A. comprend par-là, combien il eſt important de mettre les pilotes en état de découvrir auſſi la longitude du lieu où ils ſe trouvent.

Ce ne ſont pas ſeulement les tempêtes qui

mettent dans cette néceſſité; car on peut, le voyage ſe faiſant paiſiblement, ſe tromper très-groſſiérement dans l'eſtime tant de la route que de la longueur du chemin. Si l'on pouvoit ſuppoſer que la mer fut en repos, on auroit bien des moyens de s'en aſſurer aſſez éxactement, quoique cela pourroit cauſer des aberrations très-conſidérables dans des voyages de long-cours. Mais la mer a en pluſieurs endroits des courans rapides, deſorte qu'elle reſſemble à une riviére qui court ſuivant une certaine direction. C'eſt ainſi qu'on a obſervé que la mer atlantique coule continuellement par le détroit de Gibraltar dans la méditerranée; & que le grand océan atlantique, entre l'Afrique & l'Amérique, a un courant très-conſidérable de l'orient vers l'occident, tellement qu'on va beaucoup plus vîte de l'Europe en Amérique qu'on n'en revient.

Si ces courans étoient conſtans & connus, ce ſeroit un grand ſecours pour règler notre eſtime; mais on a obſervé qu'ils ſont tantôt plus, tantôt moins rapides, & qu'ils changent ſouvent de direction; ce qui dérange tellement l'eſtime des plus habiles pilotes, qu'on ne ſauroit plus s'y fier ſans s'expoſer au plus grand danger. On n'a que trop d'éxemples, que des vaiſſeaux croyoient être encore fort éloignés des endroits remplis d'écueils cachés ſous la mer, lorſqu'ils y ſont échoués & péris. On s'eſt apperçu après, que les courans de la mer avoient

caufé ces malheurs, parceque l'eftime des pilotes en avoit été dérangée.

En effet, lorfque la mer a un mouvement qui la fait couler comme une riviére, fuivant une certaine direction, les vaiffeaux qui s'y trouvent, font emportés fans s'en appercevoir. On s'apperçoit aifément qu'on eft emporté par une riviére en regardant le rivage, ou le fonds: mais en mer on ne voit aucune terre, & la profondeur eft trop grande pour voir le fonds. On ne peut donc pas s'appercevoir fur mer fi l'on eft emporté, & c'eft pourquoi l'on fe trompe très-groffiérement, tant par la route, que pour la longueur du chemin. Qu'on ait donc égard ou non aux tempêtes, on eft toujours obligé de chercher d'autres moyens, pour déterminer la longitude des lieux où l'on arrive; & c'eft des divers moyens propofés jufqu'ici pour parvenir à cette connoiffance de la longitude, que j'aurai l'honneur d'entretenir V. A.

le 12 *Septembre* 1761.

LETTRE CLXIII.

Un moyen très-fûr de trouver la longitude, feroit une horloge, une montre, ou une pendule fi parfaite, c'eft-à-dire, qui marchât toujours fi également & fi exactement, qu'aucune fecouffe ne fut capable d'en altérer le mouvement.

Supposé qu'on fut parvenu à éxécuter une telle horloge, voyons comment, par son moyen, on seroit en état de résoudre le problème des longitudes. Il faut pour cela retourner à la considération des méridiens, qu'on conçoit être tirés par tous les lieux de la terre.

V. A. sait, que le soleil fait tous les jours un tour autour de la terre, & qu'il passe par conséquent successivement au-dessus de tous les méridiens, dans le tems de vingt-quatre heures.

Or *Tab. I. fig.* 8. on dit que le soleil passe *au-dessus* ou *par* un certain méridien, si la ligne droite tirée du soleil au centre de la terre C passe précisément par ce méridien. Si donc, à présent, la ligne tirée du soleil au centre de la terre passoit par le méridien BLMA, on diroit que le soleil passe par ce méridien, & alors il seroit midi en tous les lieux situés sous ce méridien: mais sous tout autre, il ne seroit pas midi dans ce même moment; ce seroit donc avant ou après.

Si le méridien BNA est situé plus vers l'orient que le méridien BMA: le soleil en faisant son tour de l'orient à l'occident passera par le méridien BNA avant que de parvenir au méridien BMA, il sera donc plutôt midi sous le méridien BNA que sous celui BMA; par conséquent lorsqu'il sera midi sous ce dernier méridien, le midi sera déja passé sous tout autre situé vers l'orient, où il sera déja après midi. Au contraire il sera encore avant midi sous tout méridien BDA situé

plus vers l'occident, parceque le ſoleil n'y parvient qu'après avoir déja paſſé par le méridien BMA.

Et comme le mouvement du ſoleil ſe fait uniformément, & qu'il achève le tour entier de la terre, c'eſt-à-dire 360 dégrés, en vingt-quatre heures, il parcourra chaque heure un arc de 15 dégrés. Donc lorſqu'il eſt midi à Berlin, & à tout autre lieu ſitué ſous ce même méridien, le midi ſera déja paſſé ſous les méridiens ſitués plus vers l'orient; &, en particulier, ſous le méridien éloigné vers l'orient de 15 dégrés de celui de Berlin, il ſera déja une heure; ſous le méridien éloigné de 30 dégrés, deux heures; ſous celui éloigné de 45 dégrés, trois heures après midi, & ainſi de ſuite. Le contraire arrivera aux lieux ſitués ſous des méridiens plus occidentaux que celui de Berlin; & s'il eſt midi ici, il ne ſera que 11 heures avant midi ſous le méridien éloigné de 15 dégrés; 10 heures avant midi ſous le méridien éloigné de 30 dégrés; 9 heures avant midi ſous le méridien éloigné de 45 dégrés vers l'occident, & ainſi de ſuite; une diférence de 15 dégrés entre les méridiens, produiſant toujours une heure de diférence dans le tems.

Pour éclaircir mieux encore ce que nous venons de dire, conſidérons les villes de Berlin & de Paris: & puiſque le méridien de Berlin eſt de 11 dégrés 7 min. 15 ſec. plus vers l'orient que celui de Paris, en comptant une heure pour 15 dégrés, cette diférence de 11 dégrés

7 min. 15 sec. donnera 44 minutes & 29 secondes, ou à-peu-près trois quarts d'heures. Donc lorsqu'il est midi à Paris, il sera déja à Berlin 44 min. 29 sec. après midi, & réciproquement, lorsqu'il est midi à Berlin, il sera 11 heures 15 min. 31 sec. à Paris; desorte que le midi n'y arrivera que 44 min. 29 sec. après. D'où l'on voit qu'à chaque moment les horloges à Berlin doivent être plus avancés qu'à Paris, & que cette diférence doit faire 44′ 29″.

La diférence entre les méridiens de Berlin & de Magdebourg est d'un dégré 14 min. dont Berlin est plus à l'orient que Magdebourg: cette diférence réduite en tems, donne 6 minutes 40 secondes, que les horloges de Berlin doivent marquer plus vîte que ceux de Magdebourg. Par conséquent s'il est midi à Magdebourg, & que les horloges, que je suppose bien règlées, y marquent XII heures, les horloges de Berlin doivent marquer au même instant 12 heures 6 min. 40 sec., desorte qu'il y soit déja après midi.

V. A. voit par-là qu'à mesure que les lieux diférent en longitude, ou qu'ils sont situés sous des méridiens diférens, les horloges bien règlées y doivent aussi marquer des heures diférentes au même instant, & que cette diférence doit être d'une heure entiére, lorsque celle en longitude est de 15 dégrés: chaque 15 dégrés en longitude produisant une heure de tems, pour la diférence que des horloges

bien règlées doivent marquer dans ces diférens endroits au même moment.

Si l'on vouloit donc se servir d'une horloge pour trouver la longitude des endroits par lesquels on passe, il faudroit d'abord la bien règler en quelqu'endroit qu'on se trouve : ce règlement se fait sur l'observation de midi, qui est le moment, où le soleil passe par le méridien de ce lieu, & l'horloge doit montrer précisément alors XII heures. Elle doit être ensuite tellement ajustée que, toujours après vingt-quatre heures, lorsque le soleil retourne au méridien, l'indice, après avoir fait deux tours entiers, revienne éxactement sur XII heures : si cela est bien observé, de telles horloges bien règlées ne feront d'accord en diférens endroits, que lorsqu'ils sont situés sous un même méridien ; mais s'ils sont situés sous des méridiens diférens, ou qu'il y ait une diférence entre leurs longitudes, les tems que les horloges marqueront au même moment seront aussi diférens ; ensorte qu'à chaque diférence de 15 dégrés en longitude, réponde une heure entiére de diférence dans les tems marqués par les horloges.

Connoissant donc cette diférence entre les tems que des horloges bien règlées marquent en diférens endroits, au même instant, on en conclura aisément la diférence qui se trouve entre leurs longitudes, en comptant toujours 15 dégrés pour une heure, & un quart de dégré pour une minute.

le 15 Septembre 1761.

LETTRE CLXIV.

V. A. ſera moins ſurpriſe de la diférence du tems que les horloges bien règlées doivent indiquer ſous diférens méridiens, quand elle réfléchira que lorſqu'il eſt midi chez nous, il y a des pays vers l'orient, où le ſoleil ſe couche déja, & que vers l'occident, il y en a où le ſoleil ne fait que ſe lever: il faut donc bien qu'il ſoit déja ſoir chez ceux-là & encore matin chez ceux-ci au même inſtant qu'il eſt midi chez nous. V. A. ſait d'ailleurs que chez nos antipodes, qui ſe trouvent ſous le méridien oppoſé au notre, il fait nuit pendant qu'il fait jour chez nous; deſorte que lorſqu'il eſt midi chez nous, il ſera minuit chez eux.

Il me ſera aiſé, après ces éclairciſſemens, de faire voir comment une bonne horloge peut ſervir à nous faire connoître la diférence des méridiens, ſoit la diférence en longitude de divers endroits.

Suppoſons que j'aie cette excellente horloge qui, une fois bien règlée, montre tous les jours éxactement le tems * juſte qu'il fait à Berlin, deſorte que toutes les fois qu'il eſt midi à Berlin, elle indique préciſément XII heures : ſuppoſons encore qu'elle marche ſi réguliérement, que je n'aye plus beſoin d'y toucher, après l'avoir règlée une fois, & que

* Il faut entendre le tems moyen, dont le rapport au tems vrai eſt connû par les tables aſtronomiques. L'auteur a crû devoir ſe diſpenſer de faire ici cette diſtinction, qui l'auroit mené dans des détails trop longs.

ſa marche ne ſoit point dérangée ſoit que je la mette dans une voiture, ſoit qu'elle ſoit à bord d'un vaiſſeau en pleine mer, expoſée à des ſecouſſes & à toutes ſortes d'agitations.

Que je faſſe maintenant avec cette horloge un voyage par terre ou par mer, parfaitement aſſûré que cette horloge conſerve toujours le même mouvement, comme ſi j'étois reſté à Berlin; elle me marquera chaque jour XII heures au même moment qu'il eſt midi à Berlin, & cela où que je me trouve. Dans ce voyage j'arrive d'abord à Magdebourg : j'y obſerve le ſoleil lorſqu'il paſſe par le méridien, ce qui arrive lorſqu'il ſe trouve éxactement vers le Sud; & puiſque dans ce moment il fait midi à Magdebourg, je regarde mon horloge & je m'apperçois qu'elle montre alors, 12 heures 6 min. 40 ſec. d'où je conclus, que quand il eſt midi à Magdebourg, il eſt déja après midi à Berlin & que la diférence eſt 6′. 40″ de tems, qui répondent à 1°. 40′ dont le méridien de Magdebourg eſt plus vers l'occident que celui de Berlin. Puis donc que la longitude de Berlin eſt 31°. 7′. 15″, la longitude de Magdebourg ſera de 1°. 40′ plus petite, ou bien elle ſera 29°. 27′. 15″.

Je vais de-là à Hambourg, avec mon horloge, à laquelle je ne touche point, & y obſervant le midi (car je ne me fierois pas aux horloges publiques, qui y marquent les heures), je vois que mon horloge marque déja 12 heures 13′. 33″, deſorte qu'à Berlin il eſt

déja 13′. 33″. après midi, lorſqu'il eſt midi à Hambourg; & j'en conclus que le méridien de Hambourg eſt de 3°. 23′. 5″, plus vers l'occident que celui de Berlin: en comptant 15° pour une heure, & par conſéquent un dégré pour 4 minutes de tems, d'où l'on trouve que 13′ 33″ de tems donnent 3°. 23′. 15″, pour la diférence des méridiens. La longitude de Hambourg ſera donc 27°. 44′.

A Hambourg je m'embarque ſur un vaiſſeau avec mon horloge, & ayant fait un long voyage, j'arrive à un lieu où, attendant le midi (dont je détermine le moment par mes obſervations du ſoleil), je vois que mon horloge ne montre que 10°. 58′. 15″; deſorte qu'à Berlin il eſt encore avant midi dans ce moment, la diférence étant 1 heure 1′, 45″; d'où je conclus, que le lieu où je ſuis arrivé, eſt plus vers l'orient que Berlin & puiſque 1 heure donne 15 dégrés, une minute de tems 15′, & 45″ de tems 11′. 15″, la diférence des méridiens ſera 15°. 26′. 15″. Je me trouve donc dans un lieu ſitué plus vers l'orient que Berlin, dont la longitude eſt de 15°. 26′. 15″, plus grande que celle de Berlin; laquelle étant 31°. 7′. 15″, la longitude au lieu où je me trouve ſera 46°. 33′. 30″. Ainſi je ſais ſous quel méridien je me trouve, mais je ſuis encore incertain du point de ce méridien. Pour cet effet j'ai recours aux obſervations aſtronomiques, & je cherche la hauteur du pole que je trouve préciſément

de 41°. Sachant de plus que je ſuis encore dans l'hémiſphère boréal de la terre, n'ayant point paſſé l'équateur, j'apprens que je me trouve actuellement dans un lieu dont la latitude eſt de 41° boréale, & la longitude 46°. 33'. 30''; je prends donc des cartes géographiques, j'y trace le méridien dont la longitude eſt 46°. 33' 30''; je cherche le lieu dont la latitude eſt 41°, & je trouve que ce lieu eſt la ville de Conſtantinople, ſans que j'aye eu beſoin de m'informer du nom de la ville à qui que ce ſoit.

Ainſi, en quelqu'endroit de la terre que je parvienne avec mon excellente horloge, j'en déterminerai la longitude, & enſuite l'obſervation de la hauteur du pole m'en montrera la latitude. Je n'ai alors qu'à prendre un globe terreſtre, ou de bonnes cartes géographiques, & il me ſera aiſé de marquer le point qui répond au lieu où je me trouve, quelqu'inconnu que me ſoit d'ailleurs le pays.

Il eſt bien malheureux que les plus habiles horlogers n'ayent pas encore pu réuſſir à faire des horloges auſſi excellentes que cette méthode l'éxige. On trouve bien de très-bonnes pendules, mais elles ne marchent réguliérement, qu'autant qu'elles ſont fixées dans un appartement tout-à-fait tranquille; les moindres ſecouſſes & les plus légers ébranlemens étant capables de les déranger: ces pendules ſont donc abſolument inutiles pour les voyages. Auſſi comprend-on aiſément, que le

mouvement du pendule qui en règle la marche, ne sauroit souffrir les agitations auxquelles il seroit exposé dans le voyage. Il y a cependant environ dix ans, qu'un ouvrier Anglois s'est vanté d'avoir construit une horloge insensible aux secousses du voyage, & même on a prétendu, qu'après l'avoir fait courir long-tems dans un carosse, on n'y avoit pas remarqué le moindre dérangement; sur quoi l'inventeur reçut une partie du prix destiné à la découverte de la longitude, & le reste devoit lui être payé, après l'épreuve d'un long voyage par mer; mais depuis ce tems les gazettes n'en ont plus parlé; d'où il est à présumer, que cette entreprise a échoué comme quantité d'autres faites pour ce dessein.

le 19 Septembre 1761.

LETTRE CLXV.

A défaut de l'excellente horloge, dont j'ai eu l'honneur de présenter une idée à V. A., on a regardé jusqu'ici les éclipses de lune comme le moyen le plus sûr pour découvrir les longitudes; mais ces phénomènes arrivent si rarement, qu'on ne peut pas s'en servir toutes les fois qu'on en a besoin.

V. A. sait, que la lune s'éclipse lorsqu'elle

paſſe par l'ombre de la terre : on peut remarquer alors le moment où la lune commence à s'y enfoncer & celui où elle en ſort ; le premier eſt nommé le commencement de l'éclipſe, & l'autre la fin ; & quand on les obſerve tous deux, le tems moyen entr'eux eſt nommé le milieu de l'éclipſe. La lune s'enfonce quelquefois toute entiére dans l'ombre de la terre, & reſte pendant quelque tems tout-à-fait inviſible ; c'eſt alors une éclipſe totale, pendant laquelle on peut remarquer le moment où la lune diſparoît entiérement, & celui où elle recommence à ſortir de l'ombre ; celui-là eſt nommé commencement de l'obſcurciſſement entier, & celui-ci la fin. Mais quand il n'y a qu'une partie de la lune qui ſoit obſcurcie, cette éclipſe s'appelle partiale, & on ne peut y remarquer que les momens du commencement & de la fin. V. A. ſait d'ailleurs que les éclipſes de lune n'arrivent qu'au tems des pleines lunes & aſſez rarement.

Quand donc on obſerve une éclipſe de lune en deux lieux diférens, ſitués ſous diférens méridiens, on y verra bien le commencement de l'éclipſe au même moment, mais les horloges ne marqueront pas la même heure ni le même tems : je parle des horloges bien réglées, dont chacune montre préciſément XII heures, lorſqu'il eſt midi au lieu où elle ſe trouve. Si ces lieux ſont ſitués ſous le même méridien, les horloges montreront bien le même tems, au commencement & à la fin de

l'éclipse: mais si les deux méridiens sont éloignés l'un de l'autre de 15 dégrés, ou que la diférence de leurs longitudes soit de 15°, les horloges doivent diférer d'une heure entiére, du commencement de l'éclipse jusqu'à la fin, l'horloge du lieu situé plus près de l'orient montrera une heure de plus que l'autre; la diférence de 30° en longitude, causera celle de deux heures dans le tems marqué par les horloges; & ainsi de suite selon la table ci-jointe.

Diférence en Longitude.				
15	dégrés	font	1	heure.
30	dits	. . .	2.	
45	dits	. . .	3.	
60	dits	. . .	4.	
75	dits	. . .	5.	
90	dits	. . .	6.	
105	dits	. . .	7.	
120	dits	. . .	8.	
135	dits	. . .	9.	
150	dits	. . .	10.	
165	dits	. . .	11.	
180	dits	. . .	12.	

Si donc la diférence en longitude étoit de 150°, les horloges diféreroient de 10 heures du commencement à la fin de l'éclipse.

Ainſi quand on obſerve la même éclipſe en deux endroits diférens, & qu'on marque éxactement le tems de l'horloge au moment du commencement de l'éclipſe, on pourra conclure de la diférence entre les tems marqués, combien ces lieux diférent en longitudes. Or, celui où le tems eſt plus avancé, ſera ſitué plus vers l'orient, & par conſéquent ſa longitude plus grande, puiſqu'on compte les longitudes de l'occident à l'orient.

C'eſt auſſi par ce moyen qu'on a déterminé la longitude des principaux lieux de la terre, & qu'on a dreſſé les cartes géographiques conformément à ces déterminations. Mais il faloit toujours comparer les obſervations faites dans un lieu dont la longitude n'étoit pas encore connue, avec celles qui ont été faites dans un lieu connu, & attendre juſqu'à ce qu'on put faire cette comparaiſon. Si j'étois donc parvenu, après un long voyage, à un lieu inconnu, & que l'occaſion ſe préſentât d'y obſerver une éclipſe de lune, cela ne me ſerviroit de rien pour connoître d'abord ma longitude; ce n'eſt qu'à mon retour, que ſe pourrois comparer mon obſervation avec une autre faite dans un lieu connu, & j'apprendrois ainſi trop tard où j'étois alors. L'eſſentiel eſt de pouvoir m'éclaircir ſur le champ là-deſſus, pour prendre mes meſures.

Auſſi peut-on ſe ſatisfaire depuis qu'on connoît ſi éxactement le mouvement de la lune; qu'on eſt en état, non-ſeulement de prédire toutes

toutes les éclipſes, mais de marquer le moment du commencement & de la fin, ſuivant l'horloge d'un lieu connu. V. A. ſait que nos almanacs de Berlin marquent toujours le commencement & la fin de chaque éclipſe, ſuivant l'horloge de Berlin. On peut donc, quand on veut faire un long vôyage, acheter un almanac de Berlin, & ſi l'occaſion ſe préſente d'obſerver une éclipſe de lune dans un endroit inconnu, il faut en marquer éxactement le tems ſuivant une montre bien réglée ſur midi, & comparer les momens du commencement & de la fin de l'éclipſe avec ceux de l'almanac, pour s'aſſûrer de la diférence entre le méridien de Berlin & celui qui paſſe par l'endroit où l'on ſe trouve.

Il ſe trouve cependant dans cette méthode, outre la rareté des éclipſes de lune, l'inconvénient de ne pouvoir pas diſtinguer aſſez éxactement le moment du commencement ou de la fin de l'éclipſe, qui arrivent prèſque inſenſiblement, & qu'on peut bien ſe tromper de pluſieurs ſecondes. Mais comme l'erreur ſera à-peu-près la même pour la fin & pour le commencement, on cherche le milieu entre les deux momens obſervés, qui ſera celui de l'éclipſe, & on le compare enſuite avec celui que l'almanac marque pour Berlin, ou pour un autre lieu connu.

Et ſi les almanacs de l'année ſuivante ne ſont pas encore imprimés, quand on veut voyager, ou que le voyage ait à durer quel-

ques années, on trouve des livres où les éclipses sont déja calculées pour plusieurs années de suite.

le 22 Septembre 1761.

LETTRE CLXVI.

Les éclipses de soleil peuvent encore servir à déterminer les longitudes, mais d'une autre maniére, qui demande des recherches plus profondes, parce que le soleil lui-même ne souffre alors aucun obscurcissement; ce n'est que la lune qui se met devant lui, & qui empèche ses rayons de parvenir jusqu'à nous, comme quand on porte un parasol pour s'en garantir, ce qui n'empèche pas que d'autres n'en voyent tout l'éclat. Aussi la lune ne couvre-t-elle le soleil qu'à une partie des habitans de la terre, & nous pouvons voir une éclipse de soleil à Berlin, pendant que sa lumiére n'éprouve aucun affoiblissement à Paris.

Mais la lune est réellement éclipsée par l'ombre de la terre; sa propre lumiére en est diminuée ou éteinte, d'où résulte que les éclipses de lune sont vues de la même maniére, par-tout où elle se trouve sur l'horizon au tems de l'éclipse.

Il n'échappe pas à la pénétration de V. A. que s'il y avoit au ciel d'autres corps qui souf-

friſſent de tems-en-tems quelqu'obſcurciſſement réel, ils pourroient être employés avec le même ſuccès que les éclipſes de lune, à déterminer les longitudes. Les ſatellites de Jupiter qui paſſent ſi ſouvent dans l'ombre de leur planète, qu'il ne ſe paſſe prèſque point de nuit, qu'il n'y en ait un d'éclipſé, peuvent être mis dans ce rang, enſorte que leurs éclipſes nous fourniſſent un moyen très-propre à déterminer les longitudes; auſſi les aſtronomes s'en ſervent-ils avec grand ſuccès.

V. A. ſait que Jupiter a quatre ſatellites qui font leurs révolutions autour de lui, chacun dans ſon orbite, comme je le répréſente ici *Tab. II. fig.* 1. par les cercles décrits autour de Jupiter: j'y ai répréſenté auſſi le ſoleil, pour marquer l'ombre A O B derriére le corps de Jupiter. On voit dans cette figure le premier ſatellite marqué 1 pret à entrer dans l'ombre, le ſecoud marqué 2 vient d'en ſortir, le troiſiéme 3 eſt encore fort éloigné d'y entrer, & le quatriéme 4 en eſt ſorti dès longtems.

Sitôt qu'un des ſatellites entre dans l'ombre, il devient inviſible & aſſèz promtement; deſorte qu'en quelqu'endroit que ſe trouve la terre, on voit éclipſer ſubitement le ſatellite qu'on avoit vû juſques-là aſſez diſtinctement. Cette entrée d'un ſatellite dans l'ombre de Jupiter eſt nommée *immerſion* & ſa ſortie de l'ombre *émerſion*; c'eſt alors qu'on voit repa-

roître subitement le satellite qui a été invisible pendant quelque tems.

Les immersions & les émersions sont également propres à déterminer les longitudes, puisqu'elles arrivent dans un moment marqué ; desorte que quand on observe un tel phénomène en plusieurs lieux diférens de la terre, on doit trouver dans les tems marqués selon les horloges de chaque lieu, autant de diférence, que l'éxige celle qu'il y a entre les méridiens. Il en est de même que si l'on observoit le commencement ou la fin d'une éclipse de lune ; & la chose est alors sans aucune difficulté ; on est déja parvenu depuis quelque tems à prédire ces éclipses des satellites de Jupiter, c'est-à-dire, leurs immersions & leurs émersions, & on n'a qu'à comparer le tems observé avec le tems calculé pour un lieu connu, comme Berlin, pour conclure d'abord l'éloignement de son méridien avec celui de Berlin.

Aussi se sert-on par-tout de cette méthode dans les voyages par terre ; mais on n'a pas encore trouvé moyen d'en profiter sur les vaisseaux, où le besoin en est bien plus important pour être assuré du lieu où l'on est. Si l'on pouvoit voir des yeux les satellites de Jupiter aussi bien que la lune, cette méthode n'auroit aucune difficulté sur mer ; mais on ne le peut qu'à travers d'une lunette de 4 ou 5 pieds au moins, circonstance qui cause un obstacle invincible.

V. A. sait combien il faut d'adresse quand on

ſe ſert ſur terre d'une lunette un peu longue, pour la diriger vers l'objet qu'on veut contempler, & pour la tenir fixe, ſans perdre l'objet; elle en conclura donc, qu'un vaiſſeau étant dans une agitation continuelle, il doit être prèsqu'impoſſible de découvrir ſeulement Jupiter; & que quand on l'auroit trouvé, on le perd de vue au même inſtant. Or pour bien obſerver l'immerſion ou l'émerſion d'un ſatellite de Jupiter, il faut abſolument qu'on puiſſe le regarder fixement pendant quelque tems; & cela n'étant pas poſſible en mer, il paroit qu'il faut renoncer à cette méthode de déterminer les longitudes.

Il y a cependant deux moyens de remèdier à cet inconvénient; l'un de trouver des lunettes de ſix pouces ou moins encore, qui découvriroient aſſez diſtinctement les ſatellites de Jupiter; & il n'eſt pas douteux qu'il ne ſoit beaucoup plus aiſé de les manier que celles de quatre à cinq pieds de long. On travaille actuellement avec un grand ſuccès à la perfection de ces lunettes; mais il reſte à ſavoir ſi elles ne demanderont pas autant d'adreſſe pour les diriger, que les ordinaires qui ſont plus longues.

L'autre moyen ſeroit de ſe ménager ſur le vaiſſeau un ſiége ſi fixe & ſi immobile, qu'il n'en reſſentit point les agitations; il ſemble qu'un balancement adroit pourroit conduire à ce but. En effet, il n'y a pas long-tems que nous avons lu dans les gazettes, qu'un Anglois

prétendoit avoir inventé un siége ou chaise telle, qu'il prétendoit par-là au prix proposé sur la découverte des longitudes. Il avoit raison, puisqu'on pourroit par ce moyen observer en mer les immersions & émersions des satellites de Jupiter, qui sont sans-doute très-propres pour les déterminer: mais dès-lors on n'en a plus entendu parler. V. A. jugera aisément d'après cela, à combien de difficultés la découverte des longitudes est assujettie.

le 26 Septembre 1761.

LETTRE CLXVII.

Le ciel nous fournit encore une ressource pour parvenir sans lunettes à la découverte des longitudes, à laquelle les astronomes paroissent donner la plus grande confiance. C'est la lune, non-seulement quand elle est éclipsée, mais toujours, pourvu qu'elle soit visible; avantage immense, puisque les éclipses sont si rares, & que les immersions & les émersions des satellites de Jupiter n'arrivent pas à notre gré; parcequ'il s'écoule tous les ans un tems considérable, pendant lequel la planète de Jupiter n'est pas visible, au lieu que la lune s'offre prèsque toujours à notre vue.

V. A. aura sans-doute déja remarqué que la lune se lève tous les jours prèsque trois quarts

d'heure plus tard, parcequ'elle n'eſt pas attachée à un lieu fixe rélativement aux étoiles fixes, qui conſervent toujours la même ſituation entr'elles, quoiqu'elles paroiſſent emportées par le ciel, pour achever chaque jour leur révolution autour de la terre. Je parle ici ſelon les apparences; car c'eſt la terre qui tourne tous les jours autour de ſon axe, tandis que le ciel & les étoiles fixes demeurent en repos; & que le ſoleil & les planètes changent continuellement de place à l'égard des étoiles fixes. La lune faiſant parmi les étoiles, d'un jour à l'autre, des changemens de place très-conſidérables, devient propre à déterminer les longitudes.

Si l'on voit aujourd'hui la lune près d'une certaine étoile fixe, elle en paroîtra demain, à la même heure, très-conſidérablement éloignée vers l'orient, & la diſtance ſurpaſſe même quelquefois 15 dégrés. La viteſſe de ſon mouvement n'eſt pas toujours la même, cependant on eſt parvenu à la déterminer très-éxactement pour tous les jours; ce qui nous met en état de connoître d'avance ſa vraie place dans le ciel, pour toutes les heures du jour, en rapportant les heures aux horloges qui ſont ſous un méridien connu, tel, par éxemple, que celui de Berlin, ou de Paris.

Suppoſons donc, qu'après un long voyage, je me trouve en mer dans un lieu tout-à-fait inconnu, & voyons comment je pourrai me ſervir de la lune pour connoître la longitude du lieu où je ſuis; car il n'y a aucune diffi-

culté pour la latitude, pas même sur mer, où l'on a des moyens assez sûrs pour observer la hauteur du pole, à laquelle la latitude est toujours égale. Toute mon attention se dirigera donc sur la lune, je la comparerai avec les étoiles fixes qui en sont plus près, & j'en conclurai sa véritable place rélativement à elles. V. A. sait qu'on a des globes célestes, sur lesquels toutes les étoiles fixes sont marquées, & qu'on fait aussi des cartes célestes semblables aux cartes géographiques, sur lesquelles on représente les étoiles fixes qui se trouvent dans une certaine partie du ciel. En prenant donc une carte céleste, où les étoiles fixes, dont la lune est voisine, sont exprimées, il me sera aisé d'y marquer le vrai lieu où la lune se trouve alors; & ma montre, que j'aurois bien réglée là, après y avoir observé le midi, me marquera le tems de cette observation. Puis, par la connoissance du mouvement de la lune, je calcule pour Berlin à quelle heure la lune a dû paroître au même lieu du ciel, où je l'ai vue. Si le tems observé convient parfaitement avec le tems de Berlin, ce sera une marque que le lieu où je suis est éxactement sous le méridien de Berlin, & que par conséquent la longitude est la même. Mais si le tems de mon observation est diférent de celui de Berlin, cette diférence m'indiquera celle qui est entre les méridiens; & comptant 15 dégrés pour chaque heure de tems, je conclurai de combien la longitude de cet endroit est plus ou moins grande que celle

de Berlin : la longitude du lieu qui a le tems le plus avancé, étant toujours la plus grande.

Tel eſt le précis de la maniére de déterminer les longitudes par les ſimples obſervations de la lune. Je remarque que les plus heureux momens pour mieux réuſſir dans cette opération & bien déterminer le lieu de la lune, ſont, lorſqu'une étoile fixe ſe cache derriére la lune ; on nomme cela occultation, & il y a deux momens à obſerver, celui où la lune par ſon mouvement couvre l'étoile, & celui où l'étoile reparoit. Les aſtronomes ſont très-attentifs à bien ſaiſir ces momens des occultations pour en conclure le vrai lieu de la lune.

Je m'attends cependant à une objection de la part de V. A. à l'égard de la montre ou de l'horloge, dont je ſuppoſe que notre obſervateur ſur mer eſt muni ; après avoir ſoutenu l'impoſſibilité que des horloges ſoient aſſez parfaites pour marcher toujours également malgré les ſecouſſes du vaiſſeau. Mais cette impoſſibilité ne regarde que les horloges qui reſtent juſtes pendant un très-long intervalle de tems, ſans qu'on ait beſoin de les régler : or pour les obſervations dont il s'agit ici, une montre ordinaire peut être ſuffiſante, pourvu qu'elle marche uniformément pendant quelques heures, après l'avoir bien réglée ſur le midi du lieu où l'on ſe trouve ; quand on doute que l'on y puiſſe encore compter le ſoir ou la nuit, lorſqu'on obſervera la lune, les étoiles nous fourniront auſſi des moyens très-ſûrs pour la régler

de nouveau. Car puiſque la ſituation du ſoleil par rapport aux étoiles fixes nous eſt parfaitement connue pour tout tems, l'obſervation ſeule de quelqu'étoile ſuffit pour déterminer le lieu où le ſoleil doit ſe trouver alors, d'où nous pouvons conclurre l'heure que l'horloge, bien règlée, devoit montrer. Ainſi, au même inſtant où nous aurons fait l'obſervation de la lune, nous ſommes en état de règler auſſi notre montre par les étoiles, & toute montre eſt cenſée marcher réguliérement pendant un ſi petit intervalle.

le 29 Septembre 1761.

LETTRE CLXVIII.

CETTE derniére méthode de trouver les longitudes, fondée ſur les obſervations de la lune, ſemble mériter la préférence, puiſque les autres ſont aſſujetties à trop de difficultés, ou que l'occaſion de s'en ſervir eſt très-rare. Et V. A. comprend aſſez que le ſuccès dépend uniquement du grand dégré de préciſion dans les opérations, & que les erreurs qu'on pourroit commettre, conduiroient à des concluſions ſur leſquelles on ne ſauroit compter. Il eſt donc fort important d'expliquer à V. A. quel dégré de préciſion on peut eſpérer d'atteindre en mettant cette méthode en uſage, fondée ſur le changement conſidérable que la lune éprouve

d'un jour à l'autre dans ſa place, nous pouvons conclurre de cette méthode, que ſi le mouvement de la lune étoit plus rapide, il ſeroit plus propre à nous découvrir les longitudes, & nous procureroit un plus haut dégré de préciſion. Que ſi, au contraire, il étoit beaucoup plus lent, & que nous ne puſſions prèſque pas diſcerner ſon changement d'un jour à l'autre, nous ne ſaurions en tirer aucun ſecours pour la connoiſſance des longitudes.

Suppoſons donc que la lune change de place parmi les étoiles fixes de 12 dégrés en 24 heures; puiſqu'en effet ſon changement eſt ordinairement plus conſidérable; elle changera donc d'un dégré en 2 heures, & d'un demi-dégré ſoit 30 minutes en une heure; ſi nous nous trompions dans l'obſervation d'un lieu de la lune de 30 minutes, ce ſeroit comme ſi nous obſervions la lune une heure plutôt ou plus tard, & nous commettrions l'erreur d'une heure dans la concluſion, ſur la diférence des méridiens. Or une heure de diférence dans les méridiens répond à 15 dégrés dans leur longitude; par conſéquent nous nous tromperions de 15 dégrés dans la longitude même du lieu que nous cherchons; ce qui ſeroit ſans-doute une erreur ſi énorme, qu'il vaudroit prèſqu'autant ne rien ſavoir du tout; & la ſeule eſtime du voyage, c'eſt-à-dire, du chemin & de la route, quelqu'incertaine qu'elle fut, ne nous jetteroit jamais dans une erreur ſi groſſiére. Auſſi faudroit-il être bien mal-adroit pour ſe tromper

de 30 minutes ſur la place de la lune, & les inſtrumens dont on ſe ſert devroient être bien mauvais, ce qui n'eſt pas à préſumer.

Cependant, quelqu'excellens que ſoient les inſtrumens, & quelques ſoins qu'on y apporte, il eſt impoſſible d'éviter toute erreur, & il faut être bien habile pour ne pas ſe tromper d'une minute dans la détermination du lieu de la lune. Or, puiſqu'il change de 30 minutes dans une heure, il changera d'une minute en deux minutes de tems. Quand donc on ne ſe trompe que d'une minute dans le lieu de la lune, il en naîtra dans la diférence des méridiens l'erreur de deux minutes. Et une heure ſoit 60 minutes répondant à 15 dégrés dans la longitude, il en réſultera l'erreur d'un demi-dégré dans la longitude, & ce dégré de préciſion pourroit bien être ſuffiſant, pourvu que nous puiſſions y atteindre.

J'ai ſuppoſé juſqu'ici notre connoiſſance du mouvement de la lune ſi parfaite, que pour un méridien connu, nous pouvons déterminer le vrai lieu de la lune pour chaque moment, ſans erreur; mais nous ſommes encore fort éloignés de ce point de perfection. Il n'y a pas encore 20 ans qu'on ſe trompoit de plus de 6 minutes dans le calcul, & ce n'eſt que dès-lors, que l'habile profeſſeur *Mayer* à Göttingue, pourſuivant la route que j'avois propoſée, eſt parvenu à diminuer cette erreur au-deſſous d'une minute. Il pourroit donc bien arriver que du côté du calcul nous commiſſions auſſi l'er-

reur d'une minute, qui jointe à celle d'une minute commiſe dans celle de l'obſervation du lieu de la lune, doublera celle qui en réſultera ſur la longitude du lieu où nous nous trouvons, & par conſéquent elle pourroit bien monter à un dégré entier : il eſt bon de remarquer encore que, ſi la lune parcouroit en 24 heures un eſpace plus grand que ne ſont 12 dégrés, l'erreur dans la longitude feroit moins conſidérable. On trouvera peut-être moyen de diminuer encore les erreurs auxquelles nous ſommes aſſujettis dans l'obſervation & dans le calcul; alors cette méthode nous découvriroit la longitude à moins d'un dégré près. Mais on peut eſpérer d'arriver dans cette perfection à un plus haut dégré de préciſion. On n'a qu'à faire pluſieurs obſervations, ce qui ſe peut ſi l'on reſte pluſieurs jours dans un endroit: il n'eſt pas à craindre alors que toutes les concluſions ſoient également défectueuſes, quelques-unes marqueront la longitude cherchée trop grande, d'autres trop petite, & prenant un milieu entre toutes les concluſions, on pourra être ſûr que cette longitude ne diferera pas d'un dégré de la vérité.

Les Anglois qui ont voulu par généroſité encourager cette découverte, y ont mis un triple prix, l'un de 10000, le ſecond de 15000 & le troiſiéme de 20000 livres ſterlings. Le premier eſt deſtiné à celui qui aura trouvé les longitudes à un dégré près, de maniére qu'on puiſſe être ſûr que l'erreur ne ſurpaſſe pas un

dégré. Le ſecond à celui qui ſatisfera encore plus éxactement à la queſtion, enſorte que l'erreur ne ſurpaſſe jamais deux tiers de dégré ou 40 minutes. Le troiſiéme ſera donné à celui qui ſera capable de déterminer les longitudes ſi éxactement, que l'erreur n'aille jamais au-delà d'un demi-dégré ſoit trente minutes: l'on ne demande point un plus haut dégré de préciſion. Ces prix ſe trouvent encore dans leur entier, outre la portion délivrée à l'horloger qui prétendoit avoir fait des montres parfaites. Mr. *Mayer* demande actuellement le plus haut prix, & je crois qu'il y a droit.

le 3 *d'Octobre* 1761.

LETTRE CLXIX.

V. A. doit être ſuffiſamment inſtruite ſur la découverte des longitudes: j'ai eu l'honneur de lui expoſer pluſieurs voyes, qui peuvent conduire à leur détermination.

La premiére & la plus naturelle eſt d'obſerver ſoigneuſement le chemin & la direction du voyage; mais les courans & les tempêtes, auxquelles on eſt ſouvent expoſé en mer, rendent cette méthode impraticable.

La ſeconde demande la conſtruction d'une horloge ſi parfaite qu'elle marche toujours uniformément, non-obſtant les ſecouſſes du voya-

ge ; ouvrage que les artiſtes n'ont pas trouvé encore le moyen d'éxécuter.

La troiſiéme eſt fondée ſur l'obſervation des éclipſes de lune, qui rempliroit tous les déſirs ſi l'occaſion n'en étoit pas ſi rare, qu'on ne peut pas s'en ſervir au beſoin le plus preſſant.

La quatriéme regarde les éclipſes des ſatellites de Jupiter, qui ſeroient très-propres à ce deſſein, ſi l'on trouvoit le moyen de ſe ſervir ſur mer des lunettes ſans leſquelles on ne ſauroit les voir.

Enfin les obſervations de la lune même nous ont fourni la cinquiéme, qui paroît la plus praticable, pourvu qu'on ſoit en état d'obſerver ſi éxactement le lieu de la lune dans le ciel, que les erreurs, qu'on ne ſauroit éviter, ne ſurpaſſent jamais une minute, pour être ſûr qu'on ne ſe trompe pas de plus d'un dégré dans la détermination de la longitude.

C'eſt ſur ces cinq méthodes, que ceux qui ont travaillé juſqu'ici ſur cette queſtion, ont principalement dirigé leurs ſpéculations, mais il en eſt encore une ſixiéme, qui ſemble auſſi propre à nous conduire à la réſolution de ce problême, ſi elle eſt mieux cultivée ; & qui peut-être nous fournira un jour le plus ſûr moyen de trouver les longitudes ; quoiqu'en ce moment, nous en ſoyons fort éloignés encore.

Elle n'eſt pas tirée du ciel, mais uniquement attachée à la terre, étant fondée ſur la nature de l'aimant & de la bouſſole. Son explication

m'ouvre une nouvelle carriére pour entretenir V. A. sur l'important article de la physique, qui regarde la force magnétique; & j'espère qu'elle sera charmée d'honorer de son attention les éclaircissemens que j'aurai l'honneur de lui présenter là-dessus.

Mes réflèxions ne porteront que sur le sujet dont il s'agit ici, c'est-à-dire, sur la découverte des longitudes, & pour cet effet je remarquerai en général, que l'aimant est une pierre qui a la qualité d'attirer le fer & de se disposer selon une certaine direction, & qu'elle communique la même qualité au fer & à l'acier, quand on le frotte ou touche seulement d'un aimant; me proposant de mieux approfondir dans la suite cette qualité, & d'en expliquer la nature.

Je commencerai donc par donner la description d'une aiguille aimantée, qui, montée d'une certaine maniére pour l'usage de la navigation, porte le nom de boussole.

Pour cet effet on fait fabriquer avec de bon acier une aiguille à-peu-près de la *fig. 2. Tab. II.* dont le bout B est pointu pour mieux le distinguer de l'autre A; elle est munie au milieu C d'un petit chaperon creusé par le bas, pour mettre l'aiguille sur un pivot ou pointe D, comme on peut le voir par la seconde figure.

Les deux parties s'ajustent de maniére que l'éguille étant dans un parfait équilibre, puisse tourner librement ou rester fixe sur le pivot, en quelle situation qu'on la mette. Avant que de

de l'aimanter, il eſt bon de la tremper, pour la rendre auſſi dure qu'il eſt poſſible; puis en la frottant ou la touchant d'un aimant excellent elle ſera d'abord magnétique. Les deux bouts ne ſe balanceront plus, mais l'un comme B deſcendra comme s'il étoit devenu plus peſant, & pour la rétablir en équilibre il faudroit ôter quelque choſe du bout B, ou ajouter un petit poids à celui A; mais les ouvriers prévoyant ce changement cauſé par le magnétiſme, font dès le commencement le bout B plus léger que celui A, afin que l'éguille aimantée prenne d'elle-même la ſituation horizontale.

Elle acquiert alors une autre propriété bien plus remarquable; elle n'eſt plus indiférente à toutes les ſituations, comme auparavant; mais elle en affecte une préférablement à toutes les autres, & ſe diſpoſe d'elle-même de maniére que le bout B eſt dirigé à-peu-près vers le nord, & le bout A vers le ſud: & la direction de l'éguille aimantée ſe rapporte à-peu-près avec la ligne méridienne.

V. A. ſe ſouvient que, pour tracer la ligne méridienne qui nous montre le nord & le ſud, il faut recourir aux obſervations aſtronomiques, puiſque le mouvement du ſoleil & des étoiles détermine cette direction; & que quand on n'eſt pas pourvu des inſtrumens néceſſaires, & ſur-tout quand le ciel eſt couvert, on ne ſauroit tirer aucun ſecours du ciel pour tracer la ligne méridienne; cette propriété de l'éguille aimantée eſt donc d'autant plus admirable,

qu'elle nous montre en tout tems & en tout lieu la direction vers le nord, d'où dépendent les autres vers l'est, sud & ouest; c'est pourquoi l'usage de l'éguille aimantée ou de la boussole est devenue universelle, étant absolument nécessaire dans plusieurs occasions de connoître ces principales directions du globe.

C'est dans la navigation que la boussole procure les plus grands avantages; le cours d'un vaisseau devant toujours être dirigé vers un certain côté du monde, pour marcher vers un lieu proposé, conformément aux cartes géographiques ou marines, qui nous marquent la direction du cours qu'il faut tenir. Aussi n'étoit-on point en état avant cette découverte d'entreprendre de longs voyages par mer; à peine osoit-on s'éloigner des côtes, & dès qu'on les perdoit de vue, on risquoit de s'égarer, à moins que le ciel ne fut clair & que les étoiles ne montrassent les côtés du monde.

Un vaisseau en pleine mer, sans connoissance des côtés du globe, se trouve précisément dans l'état d'un homme qui, les yeux bandés, devroit marcher vers l'église du dome à Magdebourg; cet homme croiant aller d'un côté, iroit vers un autre. La boussole est donc le principal guide dans la navigation; & ce n'est qu'après cette importante découverte, qu'on a hazardé de traverser le grand océan, & découvert le nouveau monde: & que feroit un pilote sans boussole, pendant ou après une tempète, quand il ne peut tirer aucun secours du

ciel, quelque cours qu'il tienne, il ne fauroit pas s'il marche vers le nord, vers le fud, ou quelqu'autre côté du monde? Il s'égareroit bientôt au point de ne pouvoir plus fe fauver. Mais la bouffole le tire d'abord de cet embarras, & l'empêche de s'égarer en lui indiquant les côtés du monde. V. A. jugera donc combien la découverte de l'éguille aimantée ou de la bouffole eft importante.

le 6 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXX.

Quoique l'aiguille aimantée affecte la fituation d'être dirigée du fud vers le nord, il y a des caufes accidentelles, capables de déranger cette direction, qu'il faut éviter très-foigneufement. C'eft le voifinage de quelqu'aimant, fer, ou acier. V. A. n'a qu'à préfenter un couteau à une aiguille aimantée, elle quittera d'abord fa direction naturelle, pour aller vers le couteau, & en faifant tourner le couteau autour de l'aiguille, on lui fera prendre toutes les directions poffibles. Pour être donc affuré que l'aiguille eft dans fa direction naturelle, il faut en éloigner tout fer ou acier auffi bien que les aimans; chofe d'autant plus facile, que ces matiéres n'en troublent la fituation, que lorfqu'elles font fort proches; une fois écartées,

leur effet devient insensible, pourvu que ce ne soit pas un aimant très-fort, qui pourroit bien agir sur l'aiguille à la distance de quelques pieds.

Mais le fer seul ne produit pas cet effet, puisqu'on peut se servir de boussoles dans les mines même de fer. V. A. sent bien, que sous terre, dans les mines, on se trouve dans le même cas que sur mer, lorsque le ciel est couvert, & qu'on y est obligé de se règler sur les côtés du monde, en poussant les mines suivant une certaine direction. Aussi dresse-t-on des plans qui représentent la route de tous les tours & des allées creusées sous la terre, en se règlant uniquement sur la boussole dans cet ouvrage; c'est l'objet de la science qu'on nomme géomètrie souterraine.

Pour revenir à notre boussole soit aiguille aimantée, j'ai remarqué qu'elle ne se dirige vers le nord qu'à-peu-près; ce n'est effectivement que par abus, qu'on dit que l'aimant a la propriété de se diriger vers le nord. Après avoir fait plusieurs aiguilles aimantées, j'ai toujours trouvé que leur direction à Berlin s'écartoit de la véritable ligne méridienne, d'environ quinze dégrés; or une aberration de 15°. est fort considérable.

La *fig.* 3. *Tab. II.* représente d'abord la vraie ligne méridienne tirée du nord au sud, & ensuite celle qui lui est perpendiculaire, marquant à droite ost ou est, & à la gauche west ou ouest. Or l'aiguille aimantée A B, n'est pas dirigée sur la méridienne, mais s'en écarte de

l'angle BO *nord* qui eſt de 15° ; on nomme cet angle la *déclinaiſon* & quelquefois auſſi la *variation* de la bouſſole ou de l'aiguille aimantée ; & puiſque le bout le plus proche du nord B, qu'on nomme toujours le bout boréal, s'en écarte vers l'oueſt ou vers l'occident, on dit que la déclinaiſon eſt occidentale de 15°.

Ayant donc déterminé la déclinaiſon de l'aiguille aimantée, on peut s'en ſervir auſſi bien que ſi elle montroit préciſément le nord. On entoure ordinairement l'aiguille d'un cercle, & on n'a plus qu'à marquer le nord à la juſte diſtance du bout boréal B de l'aiguille, afin qu'elle en décline de 15° vers l'occident, & la ligne nord-ſud nous marquera la vraie ligne méridienne, avec les quatre principaux côtés du monde, nord, eſt, ſud, oueſt.

Pour déguiſer mieux le ſecret, on cache l'aiguille aimantée dans un cercle de carton, comme la figure le montre, mais l'aiguille n'eſt plus viſible., le carton faiſant avec elle un ſeul corps qu'on met au centre ſur un pivot, afin que ce cercle de l'aiguille puiſſe tourner librement ; alors le cercle prend toujours la ſituation que le point marqué nord ſoit dirigé préciſément vers le nord, pendant que le bout boréal de l'aiguille qu'on ne voit point, s'en écarte en effet d'un angle de 15°. vers l'occident. Cette conſtruction ne ſert qu'à déguiſer la déclinaiſon, que le vulgaire regarde comme un défaut, quoiqu'il ſoit plutôt un objet digne de notre admiration, comme nous le verrons enſuite ;

& le carton ne faiſant qu'augmenter le poids de l'aiguille, empêche qu'elle ne tourne auſſi librement que ſi elle étoit plus légére.

Pour prévenir cet accident, & ſe ſervir mieux de la bouſſole, on poſe l'aiguille dans une boëte ronde, dont la circonférence diviſée en 360°, porte les noms des principaux côtés du monde. Au centre ſe trouve le pivot ou la pointe qui porte l'aiguille, qui prend d'abord une certaine direction; on tourne alors la boëte juſqu'à ce que le bout boréal de l'aiguille B réponde au point juſte dans la circonférence, c'eſt-à-dire, au quinziéme dégré, en comptant depuis le nord vers l'occident; dès-lors les noms marqués ſur la circonférence conviendront avec les vrais côtés du monde.

On ſe ſert cependant en mer d'aiguilles enchaſſées dans des cercles de carton, dont la circonférence eſt diviſée en 360 dégrés pour n'être pas obligé de tourner la boëte; alors le cercle de carton, qu'on nomme bouſſole, marquant les vrais côtés du monde, on n'a qu'à y rapporter la route que tient le vaiſſeau pour ſavoir vers quel côté il court, ſi c'eſt au nord, au ſud, à l'eſt, à l'oueſt, ou à quelque direction moyenne. C'eſt auſſi ſur la bouſſole, qu'on juge les vents, ou la contrée d'où ils ſoufflent; puiſque c'eſt de-là qu'on leur impoſe des noms. Il faut cependant être bien aſſuré de la déclinaiſon ſoit variation de la bouſſole; nous l'avons bien trouvée ici de 15° vers l'oueſt, mais elle pourroit être diférente en d'autres en-

droits ſur terre, comme je le ferai voir dans la ſuite.

le 10 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXI.

QUAND j'ai dit que la déclinaiſon de la bouſſole eſt de 15° vers l'occident, cela ne doit s'entendre que de Berlin & pour le tems préſent; car on a remarqué que non-ſeulement cette déclinaiſon eſt diférente dans les diférens endroits de la terre, mais qu'elle change avec le tems dans le même lieu.

Ainſi la déclinaiſon magnétique eſt beaucoup plus grande à Berlin qu'autrefois; je me ſouviens très-bien encore qu'elle n'a été que de 10°; & au ſiécle paſſé il y eut un tems, où elle fut nulle, déſorte que la ſituation de l'aiguille aimantée convenoit alors éxactement avec la ligne méridienne. C'étoit vers l'an 1670; dès-lors la déclinaiſon eſt devenue ſucceſſivement plus grande vers l'oueſt, juſqu'à 15°, comme elle eſt aujourd'hui; & il eſt apparent, qu'elle ira toujours en diminuant, juſqu'à ce qu'elle revienne nulle une ſeconde fois. Ce n'eſt cependant qu'une conjecture, & nous ſommes bien éloignés de pouvoir prédire quelque choſe de certain là-deſſus.

D'ailleurs nous ſavons certainement qu'avant 1670 la déclinaiſon étoit contraire, & di-

E 4

rigée vers l'orient; & plus nous remontons, plus nous trouvons que la déclinaifon étoit grande vers l'orient. Or nous ne faurions remonter plus haut qu'au tems où la bouffole fût découverte, ce qui tombe dans le quatorziéme fiécle, mais c'eft bien long-tems après cette découverte, qu'on a commencé à en obferver la déclinaifon à Berlin; parcequ'on ne s'étoit pas apperçu d'abord, que l'aiguille s'écartât de la ligne méridienne.

Mais à Londres où l'on a été plus attentif fur cet article, on a obfervé la déclinaifon magnétique l'an 1580 de 11°, 15', eft. A. 1622 de 6°, 0', eft. A. 1634 de 4°, 5', eft. A. 1657 il n'y eut point de déclinaifon; mais en 1672 elle fut de 2°, 30', oueft. A. 1692 de 6°, 0', oueft; & à préfent elle pourroit bien être de 18 dégrés oueft ou davantage. V. A. voit donc qu'au commencement du fiécle paffé elle étoit environ 8° vers l'eft; que dès-lors elle a fucceffivement diminué, jufqu'à ce qu'elle eft devenue infenfible A. 1657, & qu'après ce tems elle eft devenue occidentale ou vers l'oueft, en augmentant jufqu'à préfent.

Elle a prèfque tenu le même ordre à Paris, mais elle y fut nulle l'an 1666, 9 ans plus tard qu'à Londres; d'où V. A. peut obferver une grande bizarerie dans la diverfité des déclinaifons, rélativement aux divers lieux de la terre, dans le même tems & au même lieu pour des tems diférens.

A préfent, non-feulement par toute l'Euro-

pe, mais par toute l'Afrique & dans la plus grande partie de l'Aſie, la déclinaiſon eſt occidentale, plus grande en quelques lieux, en d'autres plus petite que chez nous. Elle eſt plus grande dans certaines contrées en Europe, que chez nous; ſavoir en Ecoſſe & en Norvège, où la déclinaiſon va bien au-delà de 20°, en Eſpagne, en Italie & en Grèce, au contraire, elle eſt plus petite & de 12° environ, ſur les côtes occidentales de l'Afrique elle eſt d'environ 10°, & ſur les orientales de 12°. Mais avançant dans l'Aſie vers l'eſt, elle diminue ſucceſſivement, & s'évanouït même au milieu de la Sibérie à Jeniſeisk; elle diſparoît encore en Chine à Pekin, & au Japon, mais au-delà de ces endroits, plus à l'eſt, elle devient orientale; & va en augmentant en ce ſens par la partie boréale de la mer pacifique juſqu'aux côtes occidentales de l'Amérique, d'où elle va de nouveau en diminuant, juſqu'à ce qu'elle s'évanouïſſe derechef en Canada, à la Floride, aux isles Antilles & vers les côtes du Bréſil. Au-delà de ces contrées plus vers l'orient, c'eſt-à-dire, vers l'Europe & l'Afrique, elle redevient occidentale, comme je l'ai déja remarqué.

Pour avoir une parfaite connoiſſance de l'état préſent de la déclinaiſon magnétique, il faudroit être en état de marquer pour tous les lieux, tant ſur terre que ſur mer, de quelle grandeur eſt à préſent la déclinaiſon magnétique, & ſi elle tend vers l'occident ou vers l'orient. Cette connoiſſance ſeroit ſans-doute très-eſtimable,

mais elle n'eſt point à eſpérer; il faudroit qu'il y eut à préſent par-tout des hommes habiles qui, obſervant chacun dans ſon lieu la déclinaiſon magnétique, nous communiquaſſent leurs obſervations avec éxactitude: cependant il faudroit attendre quelques années, juſqu'à ce que les plus éloignées nous parvinſſent; ainſi nous n'arriverions à cette connoiſſance qu'au bout de quelques années. Or quoiqu'en deux ou trois ans la déclinaiſon de l'aiguille aimantée ne change pas conſidérablement, ce changement quelque petit qu'il ſoit, empêcheroit pourtant que la connoiſſance de toutes ces obſervations faites dans les diférentes contrées de la terre, nous éclaircit parfaitement ſur l'état préſent des diférentes déclinaiſons de l'aiguille aimantée.

Il en eſt de même des tems paſſés; à chaque année répond un certain état de déclinaiſon magnétique qui lui eſt propre, & qui la diſtingue de tous les autres tems, paſſés & futurs. Il ſeroit cependant bien à ſouhaiter que nous euſſions cet état bien détaillé pour une ſeule année; nous ne manquerions pas d'en tirer des éclairciſſemens très-importans.

Feu Mr. *Halley*, célèbre aſtronome d'Angleterre, a tâché de nous le donner pour l'année 1700, fondé ſur un grand nombre d'obſervations faites en pluſieurs lieux, ſur terre & ſur mer; mais outre que les contrées très-conſidérables où ces obſervations n'ont pas été faites, y ſont omiſes, la plûpart de celles qu'il a em-

ployé, ont été faites plusieurs années avant l'époque de 1700; desorte que jusques-là la déclinaison a pu souffrir des changemens assez considérables. Il s'ensuit que cet état, qu'on trouve représenté sur une carte générale de la terre, ne sauroit être regardé que comme très-défectueux; d'ailleurs, à quoi nous serviroit-il à présent de savoir l'état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, qui dès-lors a changé considérablement.

D'autres géographes Anglois ont donné depuis une carte semblable, où toutes les déclinaisons devroient être représentées telles qu'elles ont été l'an 1744. Mais comme elle a les mêmes défauts que celle de *Halley*; & que les observations leur manquoient aussi pour plusieurs contrées, ils n'ont pas balancé à remplir ces espaces vuides, en consultant la carte de *Halley*, qui n'avoit plus lieu certainement en 1744. V. A. jugera par-là, que notre connoissance sur cet article important de la physique, est encore extrêmement imparfaite.

le 13 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXII.

Il est bon d'expliquer aussi comment *Halley* s'y est pris pour représenter les déclinaisons magnétiques, dans la carte qu'il a dressée pour

l'année 1700, afin que ſi V. A. la voit, elle en comprenne la conſtruction.

D'abord il a marqué à chaque endroit la déclinaiſon de l'aiguille aimantée, telle qu'elle y a été obſervée, il a diſtingué parmi tous ces lieux, ceux où il n'y eut point de déclinaiſon, & il a vu que tous ces lieux tombent dans une certaine ligne, qu'il nomme la ligne de nulle déclinaiſon, puiſque par-tout ſous cette ligne il n'y en avoit alors aucune. Cette ligne n'étoit ni un méridien ni un parallele, mais elle traverſoit par des tours très-obliques l'Amérique ſeptentrionale, & en ſortoit près les côtes de la Caroline; de-là elle ſe courboit pour traverſer la mer atlantique entre l'Afrique & l'Amérique. Outre cette ligne il en découvrit encore une autre, où la déclinaiſon s'évanouïſſoit auſſi; elle deſcendoit par le milieu de la Chine, & paſſoit de là par les isles Philippines & la nouvelle Hollande. L'on peut bien juger par le trait de ces deux lignes, qu'elles ont une communication près de l'un & l'autre pole de la terre.

Après avoir fixé ces deux lignes de nulle déclinaiſon, Mr. *Halley* a remarqué que par-tout entre la premiére & la derniére, en paſſant de l'occident vers l'orient, c'eſt-à-dire, vers toute l'Europe, l'Afrique & prêſque toute l'Aſie, la déclinaiſon étoit occidentale; & de l'autre côté au-delà de ces deux lignes, c'eſt-à-dire, dans toute la mer pacifique, elle étoit orientale. Enſuite, ayant fixé ces deux lignes

comme les principales, il alloit confidérer tous les lieux où la déclinaifon étoit de 5 dégrés occidentale; d'où il voyoit qu'il pouvoit encore tirer commodément par tous ces lieux une ligne qu'il nomme la ligne de cinq dégrés occidentale : il trouvoit auffi deux lignes de cette nature, dont l'une accompagnoit, pour ainfi dire, la premiére fans déclinaifon, & l'autre la derniére. Il en fit de même des lieux où la déclinaifon étoit de 10° enfuite de 15°, de 20°, &c. & il vit que les lignes de ces grandes déclinaifons, étoient bornées vers les poles, pendant que celles des petites déclinaifons traverfoient toute la terre & paffoient par l'équateur.

En effet, la déclinaifon furpaffe à peine 15° fous l'équateur tant vers l'oueft que vers l'eft; mais en approchant des poles, on peut arriver à des lieux où la déclinaifon furpaffe 58° & 60°; il y en a fans-doute, où elle eft encore plus grande, furpaffant même 90° & plus, où le bout boréal de l'aiguille fe tournera par conféquent vers le fud.

Enfin, après avoir tiré de femblables lignes par les lieux où la déclinaifon étoit orientale de 5°. 10°. 15°, & ainfi de fuite, Mr. *Halley* a en rempli toute la carte, qui repréfente la furface entiére de la terre, fous chacune defquelles la déclinaifon eft par-tout la même, pourvu que les obfervations ne manquent pas. Auffi Mr. *Halley* a-t-il été affez fcrupuleux pour ne pas continuer ces lignes au-delà des lieux dont il avoit des obfervations : c'eft pourquoi

la plus grande partie de ſa carte en eſt dépourvue.

Si l'on avoit une telle carte juſte & complette, on y verroit d'un coup-d'œil, quelle déclinaiſon auroit règné à chaque endroit dans le tems pour lequel la carte auroit été dreſſée; & quoique le lieu propoſé ne ſe trouveroit pas préciſément ſous une des lignes marquées, on eſtimeroit aiſément en le comparant avec les deux lignes entre leſquelles il ſeroit ſitué, la déclinaiſon moyenne qui lui conviendroit. Si je me trouvois entre les lignes de 10°, & de 15° de déclinaiſon occidentale, je ſerois certain, que la déclinaiſon y ſeroit plus grande que 10°, & moindre que 15°, & ſelon que je ſerois plus proche de l'un ou de l'autre, je trouverois aiſément le juſte milieu qui m'indiqueroit la véritable déclinaiſon.

V. A. reconnoîtra ſans difficulté par-là, que ſi l'on avoit une telle carte éxacte, elle nous ſerviroit à découvrir des longitudes, au moins pour le tems auquel elle conviendroit. Suppoſons, pour expliquer cette méthode, que nous ayons cette carte dreſſée pour cette année, nous y verrions d'abord les deux lignes tracées par les endroits où la déclinaiſon eſt nulle, puis deux où elle ſeroit de cinq dégrés, de 10°, de 15°, de 20°, tant occidentale qu'orientale: ſuppoſons même que pour plus grande éxactitude, ces lignes ſoient tirées de dégré en dégré, & que je me trouve quelque part, en mer ou dans un pays inconnu, je tirerois

donc d'abord une ligne méridienne, pour voir combien ma bouſſole s'en écarte, & je trouverois par éxemple que la déclinaiſon eſt préciſément de 10°, vers l'eſt; alors je prendrois ma carte, j'y chercherois les deux lignes ſous leſquelles la déclinaiſon eſt de 10°, vers l'eſt, & je ſerois ſûr que je me trouve ſous l'une ou l'autre de ces deux lignes, ce qui m'éclairciroit déja beaucoup dans mon incertitude. Enfin j'obſerverois la hauteur du pole, qui étant égale à la latitude du lieu où je me trouverois, il ne me reſteroit plus qu'à marquer ſur les deux lignes mentionnées, les points dont la latitude ſeroit la même que celle que je viens d'obſerver; & alors toute mon incertitude ſeroit réduite à deux points très-éloignés l'un de l'autre; or les circonſtances de mon voyage décideroient aiſément lequel de ces deux lieux eſt celui où je me trouve actuellement.

V. A. conviendra que ſi nous avions des cartes pareilles, cette méthode ſeroit la plus commode de toutes celles que j'ai expoſées; mais c'eſt préciſément ce qui nous manque; & comme nous ſommes encore fort éloignés de pouvoir en dreſſer une pour le tems paſſé, qui ne nous ſerviroit à rien pour le tems préſent, faute d'une quantité ſuffiſante d'obſervations, nous ſommes encore moins inſtruits de tous les changemens de déclinaiſon que chaque endroit éprouve par la ſuite du tems. Les obſervations faites juſqu'ici nous mon-

trent que quelques endroits ſont aſſujettis à des changemens très-conſidérables, & que d'autres n'en ſouffrent prèſque point dans le même intervalle de tems, ce qui nous ôte toute eſpérance de pouvoir jamais profiter de cette méthode, quelqu'excellente qu'elle ſoit en elle-même.

le 17 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXIII.

V. A. ſera ſans-doute curieuſe d'apprendre pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction, pourquoi cette direction eſt différente en différens lieux; & pourquoi dans le même endroit elle change avec le tems: je répondrai de mon mieux à ces queſtions importantes, craignant beaucoup de ne pas ſatisfaire à mon gré la curioſité de V. A.

Je remarque d'abord que les aiguilles aimantées ont cette propriété commune avec tous les aimans, & que ce n'eſt que leur figure propre à balancer ſur un pivot & y tourner librement, qui la rend plus marquée. L'aimant ſuſpendu par un fil, ſe tourne vers un certain côté, & lorſqu'on le met dans un petit vaſe, pour le faire nager ſur l'eau, le vaſe portant l'aimant affectera toujours une cer-

certaine direction. Tout aimant armé de deux points, dont l'un affecte le nord & l'autre le sud, sera sujet aux mêmes variations que les éguilles.

Ces points sont très-sensibles dans chaque aimant; puisque c'est par où il attire le fer avec la plus grande force. On les nomme les *Poles* d'un aimant, en empruntant cette dénomination de celle des poles de la terre ou du ciel, parce que l'un tâche de se diriger vers le pole boréal, & l'autre vers le pole austral ou méridional de la terre; ce qui ne doit s'entendre qu'à-peu-près; car lorsqu'on introduisit ces noms la déclinaison n'étoit pas encore connue. Celui des poles de l'aimant qui se dirige vers le nord, est nommé pole boréal & celui qui se dirige vers le sud pole méridional ou austral.

J'ai déja remarqué qu'une aiguille aimantée, ainsi que l'aimant même, ne prend cette situation qui lui paroît naturelle, que lorsqu'elle se trouve hors du voisinage de quelqu'autre aimant ou du fer. Quand une aiguille aimantée se trouve proche d'un aimant, elle règle sa situation sur les poles de cet aimant; ensorte que le pole boréal de l'aimant attire le bout méridional de l'aiguille, & réciproquement le méridional de l'aimant le bout boréal de l'aiguille; c'est pourquoi en rapportant deux aimants ensemble, on nomme poles amis ceux qui portent diférens noms; & poles ennemis ceux du même nom; cette propriété est très-remarquable lorsqu'on approche deux ai-

mants; car alors on verra non-seulement que les poles de diférens noms s'attirent mutuellement, mais que les poles du même nom se fuyent & se repoussent l'un l'autre. On le voit encore plus distinctement, lorsqu'on approche deux aiguilles aimantées l'une de l'autre.

Il est fort important pour voir cela de bien considérer la situation qu'une aiguille aimantée prend dans le voisinage d'un aimant.

Dans la *fig.* 4. *Tab. II.* la barre A B représente un aimant, dont le pole boréal est en B & le pole méridional en A; V. A. voit plusieurs positions de l'aiguille aimantée sous la figure d'une flèche, dont le bout marqué *b*, est le pole boréal, & *a*, le pole méridional. Dans toutes ces positions le bout *b* de l'aiguille s'approche du pole A de l'aimant, & le bout *a* du pole B. Le point *c* marque le pivot, sur lequel l'aiguille tourne, & V. A. n'a qu'à bien considérer la figure pour juger quelle situation prendra l'aiguille, en quelque lieu autour de l'aimant qu'on fixe le pivot *c*.

Si donc il y avoit quelque part un très grand aimant A B, les aiguilles aimantées posées autour de lui, prendroient en chaque endroit une certaine situation, comme nous voyons que cela arrive actuellement autour de la terre: ou si la terre elle-même étoit cet aimant, on comprendroit pourquoi les aiguilles aimantées se disposent par-tout selon une certaine direction. Aussi les physiciens, pour expliquer ce phénomène, soutiennent que toute la

terre a la propriété d'un aimant, ou que nous la devons regarder comme un très-grand aimant. Quelques - uns d'entr'eux prétendent qu'il ſe trouve vers le centre de la terre un très-grand aimant qui éxerce ſa force ſur toutes les aiguilles aimantées, & même ſur tous les aimants qui ſe trouvent ſur la ſurface de la terre, & que c'eſt cette force qui les dirige en chaque lieu ſelon les mêmes directions que nous y obſervons.

Mais nous n'avons pas beſoin de recourir à un aimant caché dans les entrailles de la terre: ſa ſurface eſt tellement remplie de mines de fer & d'aimants, que leur force réunie peut bien ſuppléer au défaut de ce grand aimant. En effet, on tire tous les aimans des mines, marque bien ſûre que ces minéraux ſe trouvent très-abondamment dans les entrailles de la terre, & que toutes leurs forces réunies fourniſſent la force génerale, qui produit tous les phénomènes magnétiques. Nous ſommes auſſi en état d'expliquer par-là, pourquoi la déclinaiſon magnétique change avec le tems dans le même endroit; car on ſait que les mines de tous les métaux ſont aſſujetties à des changemens continuels & particuliérement celles de fer, auxquelles ſe rapportent les aimants: Tantôt il s'engendre du fer dans un endroit, tantôt il s'y détruit; deſorte qu'il y a aujourd'hui des mines de fer, où il n'y en eut point autrefois; & où l'on en trouvoit autrefois en abondance, on ne trouve preſque

plus rien aujourd'hui. Cela prouve ſuffiſamment que la maſſe totale des aimants renfermés dans la terre, ſouffre des changemens très-conſidérables; d'où ſans-doute les poles, ſur leſquels ſe règle la déclinaiſon magnétique, changent auſſi avec le tems.

C'eſt donc ici qu'il faut chercher pourquoi les déclinaiſons magnétiques ſont ſujettes à des changemens ſi conſidérables aux mêmes lieux de la terre. Mais cette même raiſon, fondée ſur l'inconſtance de ce qui ſe paſſe dans ſes entrailles, ne nous laiſſe aucune eſpérance de parvenir jamais à prédire d'avance la déclinaiſon magnétique, à moins qu'on ne trouve moyen de ramener les changemens de la terre à quelque loi fixe. Une longue ſuite d'obſervations, continuée pendant pluſieurs ſiécles, pourroit peut-être nous fournir des éclairciſſemens là-deſſus.

le 20 Octobre 1761.

LETTRE CLXXIV.

Ceux qui prétendent que la terre renferme dans ſon ſein un grand aimant, comme un noyau, ſont obligés de dire, pour expliquer la déclinaiſon magnétique, que ce noyau change ſucceſſivement de ſituation. Il faudroit alors qu'il fût détaché de la terre dans toutes

ſes parties; & comme, ſans-doute, ſon mouvement ſuivroit une certaine loi, nous pourrions eſpérer de la découvrir un jour. Mais ſoit qu'il y ait un tel noyau magnétique dans la terre, ſoit que les aimans diſperſés dans ſon ſein réuniſſent leurs forces pour produire les phénomènes magnétiques, on peut toujours regarder la terre même comme un aimant, ſelon lequel ſe dirigent tous les aimants particuliers & toutes les aiguilles aimantées.

Quelques phyſiciens ont renfermé un aimant d'une très-grande force dans un globe, & ayant placé ſur ſa ſurface une aiguille aimantée, ils y ont obſervé des phénomènes ſemblables à ceux qui ont lieu ſur la terre après avoir placé l'aimant dans le globe de pluſieurs façons diférentes. Or en conſidérant la terre comme un aimant, elle aura ſes poles magnétiques, qu'il faut bien diſtinguer des poles naturels, autour deſquels elle tourne: ces diférens poles n'ont rien de commun entr'eux, que le nom, mais c'eſt de la poſition des poles magnétiques à l'égard des naturels, que proviennent les irrégularités apparentes dans la déclinaiſon magnétique, & en particulier des lignes tracées ſur la terre, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à V. A.

Pour mieux éclaircir cette matiére, je remarque que ſi les poles magnétiques tomboient préciſément dans les poles naturels, il n'y auroit point de déclinaiſon ſur la terre; les aiguilles aimantées ſeroient préciſément dirigées

par-tout du nord vers le ſud, & leur poſition ſeroit préciſément la même que celle de la ligne méridienne. Ce ſeroit ſans-doute un très-grand avantage pour la navigation, puiſqu'on connoitroit alors éxactement la route du vaiſſeau & la direction du vent: au lieu qu'à préſent, on doit toujours chercher la déclinaiſon de la bouſſole, avant que de pouvoir déterminer les vrais côtés du monde. Mais la bouſſole n'apporteroit alors aucun ſecours pour la détermination des longitudes, but auquel la déclinaiſon pourroit bien conduire un jour.

On peut en conclure que ſi les poles magnétiques de la terre diféroient de beaucoup des poles naturels, & qu'ils fuſſent directement oppoſés l'un à l'autre, ce qui arriveroit ſi l'axe magnétique de la terre, (c'eſt la ligne droite tirée par les deux poles magnétiques) paſſoit par le centre de la terre, alors les aiguilles aimantées ſe dirigeroient par-tout vers ces poles magnétiques, & il ſeroit bien aiſé d'aſſigner pour tous les lieux la direction magnétique. On n'auroit qu'à tirer, par chaque lieu, un cercle qui paſſât en même tems par les deux poles magnétiques, & l'angle que feroit ce cercle avec le méridien du même lieu, donneroit la déclinaiſon magnétique.

Dans ce cas les deux lignes ſous leſquelles la déclinaiſon eſt nulle, ſeroient des méridiens tirés par les poles magnétiques. Mais puiſque nous avons vû qu'actuellement ces deux lignes ſans déclinaiſon, ne ſont point des méridiens,

& qu'elles font un tour fort bizarre, on voit bien que ce cas n'a point lieu fur la terre. Halley a bien reconnu cette conféquence, & s'eft cru obligé par-là de fuppofer un double aimant dans les entrailles de la terre, l'un fixe & l'autre mobile ; en conféquence il a établi quatre poles fur la terre, dont deux fe trouvent près du pole boréal & les deux autres près du pole méridional, à diftances inégales. Mais cette conclufion me paroît un peu hazardée : il ne s'enfuit pas de ce que les lignes fans déclinaifon ne font point des méridiens, qu'il y ait quatre poles magnétiques fur la terre : mais plutôt qu'il n'y en a que deux qui ne font pas directement oppofés l'un à l'autre, ou ce qui revient au même, que l'axe magnétique ne paffe point par le centre de la terre.

Il refte donc encore à confidérer les cas où ces deux poles magnétiques ne font pas directement oppofés, & où l'axe magnétique ne traverfe pas la terre par fon centre ; car en embraffant l'hypothèfe du noyau magnétique dans la terre, pourquoi l'un des poles magnétiques feroit-il précifément à l'oppofite de l'autre ? Il fe pourroit bien que ce noyau ne fe trouvât point au milieu de la terre, mais qu'il fut à quelque diftance du centre. Or dès que les poles magnétiques ne font plus oppofés diamétralement l'un à l'autre, les lignes, fous lefquelles la déclinaifon eft nulle, prennent effectivement un tour femblable à celui

qu'on a conclu par les observations; il est même possible d'assigner aux deux poles magnétiques de telles places sur la terre, que non-seulement ces lignes feroient d'accord avec les observations, mais aussi pour tous les dégrés de déclinaison, tant occidentale qu'orientale, on trouve précisément des lignes semblables à celles qui nous ont d'abord parû si bizarres.

Pour connoître l'état de la déclinaison magnétique, il ne s'agit donc que de fixer les deux poles magnétiques, & alors c'est un problême de géomètrie, de déterminer la route de toutes ces lignes dont j'ai parlé dans ma lettre précédente, tirées pour tous les lieux où la déclinaison est la même. C'est par ce moyen encore qu'on feroit en état de rectifier ces lignes & de remplir des contrées, où les observations nous manquent; & si l'on pouvoit pour tous les tems à venir, assigner les lieux des deux poles magnétiques sur la terre, ce feroit sans-doute la plus belle solution du problême des longitudes.

On n'a donc point besoin d'un double aimant dans la terre, ou des quatre poles magnétiques, pour expliquer les phénomènes de la déclinaison magnétique, comme le grand Halley l'a cru, mais d'un simple aimant ou des deux poles magnétiques, pourvû qu'on assigne à chacun sa juste place. Il me semble que, par cette réflèxion, nous sommes beau-

coup plus avancés dans notre connoiſſance ſur le magnétiſme.

le 24 Octobre 1761.

LETTRE CLXXV.

V. A. voudra bien ſe ſouvenir que lorſque nous frottames une aiguille ſur un aimant, elle en acquit non-ſeulement la propriété de ſe diriger vers un certain point l'horizon, mais que ſon bout boréal deſcendit comme s'il fut devenu plus peſant, ce qui nous obligea d'en ôter quelque choſe ou d'ajouter au bout oppoſé, pour remettre l'aiguille en équilibre. J'ai fait, en ne mettant point ce moyen en uſage, pluſieurs expériences pour m'aſſurer juſqu'où la force magnétique fait deſcendre le bout boréal de l'aiguille aimantée, & j'ai trouvé qu'il baiſſoit juſqu'à faire un angle de 72 dégrés avec l'horizon, & qu'à cette ſituation, l'aiguille reſtoit en repos; il eſt bon de remarquer que j'ai fait ces expériences à Berlin, il y a environ ſix ans; car je ferai voir dans la ſuite que cette ſituation ſous l'horizon eſt auſſi variable que la déclinaiſon magnétique.

Nous voyons par-là que la force magnétique éxerce un double effet ſur les aiguilles; l'un dirige l'aiguille vers un certain côté de l'horizon dont l'éloignement de la ligne mé-

ridienne eſt ce qu'on nomme la déclinaiſon magnétique, l'autre lui imprime une inclinaiſon vers l'horizon, en faiſant baiſſer l'un ou l'autre bout au-deſſous, juſqu'à un certain angle.

Soit *Tab. II. fig.* 5. *de* la ligne horizontale tirée ſelon la déclinaiſon magnétique, & l'aiguille prendra à Berlin la ſituation *ba* qui fait avec l'horizon *de* l'angle *dcb* ou *eca*, qui eſt 72°, & par conſéquent avec la verticale *fg*, un angle *bcg*, ou *acf* de 18 dégrés. Ce ſecond effet de la force magnétique, par lequel les aiguilles aimantées affectent une certaine inclinaiſon avec l'horizon, eſt auſſi remarquable que le premier; & comme le premier eſt nommé la déclinaiſon magnétique, le ſecond eſt connu ſous le nom d'inclinaiſon magnétique, qui mériteroit autant que la déclinaiſon, d'ètre obſervée par-tout, avec tous les ſoins poſſibles, puiſqu'on y trouve une auſſi grande variété.

L'inclinaiſon a été trouvée à Berlin de 72°, à Basle ſeulement de 70°, le bout boréal de l'aiguille étant baiſſé & l'autre par conſéquent élevé de cet angle. Cela arrive dans nos contrées comme plus proches du pole magnétique boréal de la terre; & plus nous en approchons, plus l'inclinaiſon de l'aiguille devient grande, ou s'approche de la ligne verticale; deſorte que ſi nous pouvions arriver à ce pole même, l'aiguille y prendroit effectivement la ſituation verticale, ſon bout boréal

étant tourné en bas & le méridional en haut. Plus au contraire on s'éloigne du pole boréal magnétique de la terre, en s'approchant du méridional, plus l'inclinaiſon diminue; elle diſparoitra enfin, & l'aiguille prendra une ſituation horizontale, quand on ſe trouvera à des diſtances égales des deux poles; mais en s'approchant davantage du pole méridional de la terre, ce ſera le bout méridional de l'aiguille qui s'enfoncera de plus-en-plus ſous l'horizon, le bout boréal s'élevant au-deſſus, juſqu'à ce que, dans ce pole même, l'aiguille devienne derechef verticale, tournant ſon bout méridional en bas & le boréal en haut.

Il ſeroit bien à ſouhaiter, qu'on fit partout des expériences auſſi ſoigneuſes pour déterminer l'inclinaiſon magnétique, qu'on l'a fait pour la déclinaiſon; mais on a trop négligé juſqu'ici cet important article de la phyſique expérimentale, qui n'eſt pas certainement moins curieux, ni moins intéreſſant, que celui de la déclinaiſon. Il n'en faut pas être ſurpris, cette eſpèce d'expérience eſt ſujette à trop de difficultés, & prèſque toutes les maniéres qu'on a imaginées juſqu'ici pour obſerver l'inclinaiſon magnétique ont manqué de ſuccès: il n'y a qu'un artiſte de Basle nommé Diterich, qui ait réuſſi, après avoir conſtruit une machine propre à ce deſſein, ſuivant les vues du célèbre Mr. *Daniel Bernoulli.* Il m'avoit envoyé deux de ces machines, par le moyen deſquelles j'ai obſervé ici cette in-

clinaiſon de 72 dégrés, & quelque curieux que ſoient d'ailleurs les Anglois & les François ſur ces ſortes de découvertes, ils ne firent pas grand cas de la machine de Mr. *Diterich*, quoiqu'elle ſoit la ſeule propre à ce deſſein. Cet éxemple nous fait voir, combien les préjugés ſont capables d'arrèter les progrès des ſciences; & c'eſt ce qui eſt cauſe que Basle & Berlin ſont les ſeuls endroits ſur la terre où l'on connoiſſe l'inclinaiſon magnétique.

Les aiguilles faites pour les bouſſoles ne ſont pas abſolument propres à nous montrer la quantité de l'inclinaiſon magnétique, quoiqu'elles en indiquent l'effet en gros, parceque le bout boréal devient plus peſant dans nos contrées; pour faire uſage d'aiguilles deſtinées à nous découvrir la déclinaiſon, nous ſommes obligés de détruire l'effet de l'inclinaiſon, en rendant le bout boréal plus léger ou le bout méridional plus peſant. Pour ramener l'aiguille dans la ſituation horizontale, on ſe ſert ordinairement du dernier remède, & on attache un peu de cire au bout méridional de l'aiguille. Mais V. A. comprend aiſément que ce remède n'a lieu qu'ici, où la force inclinatoire eſt d'une certaine grandeur, & que ſi nous voyageons avec une telle aiguille vers le pole boréal magnétique de la terre, la force inclinatoire augmentera, & que pour empècher l'effet, il faudra ajouter encore de la cire ſur le bout méridional. Mais ſi nous voyageons vers le midi, & que nous approchions de l'autre pole de la

terre, où la force inclinatoire fur le bout boréal de l'aiguille diminue, il faut alors diminuer la cire attachée à l'autre bout, l'ôter enfuite tout-à-fait, parcequ'elle eft inutile, fi l'on parvient à des endroits où l'inclinaifon magnétique s'évanouït. De-là fi on approche davantage du pole méridional le bout méridional de l'aiguille eft pouffé en-bas, de maniére que, pour prévenir cet effet, il faut attacher de la cire au bout boréal de l'aiguille. C'eft de ce moyen qu'on fe fert dans les grands voyages, pour maintenir la bouffole dans une fituation horizontale.

Il faudroit avoir pour obferver l'inclinaifon magnétique des inftrumens faits exprès, & femblables à celui que l'artifte de Basle a inventé; on nomme cet inftrument *inclinatoire*, mais il n'y a pas apparence, qu'on en faffe fi-tôt ufage. * Encore moins pouvons nous efpérer, qu'on faffe bientôt des cartes fur l'inclinaifon magnétique, femblables à celles où l'on nous a repréfenté la déclinaifon: on pourroit bien fuivre la même méthode, & tirer des lignes par tous les lieux où l'inclinaifon magnétique fera la même, deforte qu'on auroit des lignes fans inclinaifon, enfuite d'autres lignes où l'inclinaifon feroit de 5°, 10°, 15°, 20°, &c. tant vers le nord que vers le fud.

le 27 d'Octobre 1761.

* Depuis, à l'occafion du dernier paffage de Vénus audevant du difque du foleil, Mrs. Mallet & Pictet de Genève, appellés à obferver ce paffage en Laponie, ont fait ufage de cet inclinatoire, & ont trouvé au mois de May de l'année 1769, l'inclinaifon magnétique d'abord à St. Pétersbourg de 73°, 40'; & enfuite en Laponie à Kola de 77°, 45'; à Oumba de 75°, 10', & à Panoi de 76°, 30'.

LETTRE CLXXVI.

Pour ſe former une juſte idée de l'effet de la force magnétique de la terre, il faut avoir égard tant à la déclinaiſon qu'à l'inclinaiſon des aiguilles aimantées dans chaque lieu de la terre; nous ſavons qu'à Berlin la déclinaiſon eſt de 15°, vers l'occident; & que l'inclinaiſon au bout boréal eſt de 72°. En conſidérant ce double effet, la déclinaiſon & l'inclinaiſon, on aura la véritable direction magnétique; ainſi pour ſavoir la véritable direction magnétique pour Berlin, on tirera d'abord ſur un plan horizontal une ligne qui faſſe avec la méridienne un angle de 15°, vers l'occident, & de-là, deſcendant vers la ligne verticale, on tracera une nouvelle ligne qui faſſe un angle de 72° avec celle-là; & celle-ci nous montrera la direction magnétique pour Berlin, d'où V. A. comprend, comment on devroit aſſigner pour tout autre endroit la direction magnétique, pourvu qu'on en connût l'inclinaiſon & la déclinaiſon.

Chaque aimant nous découvre des phénomènes tout-à-fait ſemblables, on n'a qu'à le mettre ſur une table couverte de limaille de fer, & l'on verra que la limaille ſe diſpoſera autour de l'aimant B A, à-peu-près comme la *fig. 6. Tab. II.* le repréſente, où chaque parcelle de limaille peut être regardée comme une petite aiguille aimantée, qui nous fait voir en chaque point

autour de l'aimant, la direction magnétique. Cette expérience nous conduit à chercher la cause de tous ces phénomènes.

L'arrangement que nous observons dans la limaille de fer, ne nous laisse pas douter que ce ne soit une matiére subtile & invisible qui enfile les parcelles de la limaille, & qui les dispose dans la direction que nous voyons. Il est également clair que cette matiére subtile traverse l'aimant même, entrant par l'un des poles, & sortant par l'autre: desorte qu'elle forme par son mouvement continuel autour de l'aimant, un tourbillon qui reconduit la matiére subtile d'un pole à l'autre, & ce mouvement est sans-doute extrêmement rapide.

La nature des aimans consiste donc dans un tourbillon continuel, ce qui les distingue de tous les autres corps; & la terre elle-même, en qualité d'aimant, sera entourée d'un tourbillon pareil, qui agit par-tout sur les aiguilles aimantées, & fait des efforts pour les disposer suivant sa propre direction, qui est la même que j'ai nommée auparavant direction magnétique; cette matiére subtile sort donc continuellement par l'un des poles magnétiques de la terre, & après en avoir fait le tour jusqu'à l'autre pole, elle y rentre & la traverse dans toute son épaisseur, jusqu'à ce qu'elle s'échappe de nouveau par le premier pole.

On ne sauroit décider encore par lequel des deux poles magnétiques de la terre, elle entre ou sort; les phénomènes qui en dépendent,

ſe reſſemblent ſi parfaitement, qu'on ne ſauroit les diſtinguer. C'eſt ſans-doute auſſi ce tourbillon général de la terre qui fournit la matiére ſubtile à tous les aimants partiaux & au fer ſoit acier aimanté, & qui entretient les tourbillons particuliers qui les environnent.

Pour approfondir la nature de cette matiére ſubtile & ſon mouvement, il faut remarquer qu'elle n'agit que ſur les aimants, le fer & l'acier; tous autres corps lui ſont abſolument indiférens; il faut donc qu'elle ſe trouve dans une autre rélation à leur égard qu'à celui des autres. Pluſieurs expériences nous obligent à ſoutenir que cette matiére ſubtile traverſe librement tous les autres corps & même en tous ſens: car, quand un aimant agit ſur une aiguille, l'action eſt parfaitement la même, qu'on mette quelques corps entr'eux, ou qu'on n'y en mette pas, pourvu que ce ne ſoit pas du fer, & ſon action eſt la même ſur la limaille de fer. Il faut donc que cette matiére ſubtile traverſe tous les corps, excepté le fer, auſſi librement que l'air, & même le pur éther, puiſque ces expériences réuſſiſſent également dans un eſpace vuidé d'air par la machine pneumatique. Cette matiére ſubtile eſt par conſéquent diférente de l'éther, & même beaucoup plus ſubtile. Et, à cauſe du tourbillon général de la terre, on peut dire qu'elle environne toute la terre, traverſant librement toute la maſſe, comme les autres corps, à l'exception du fer & des aimants:

aimants : & c'eſt pour cela qu'on pourroit nommer le fer & l'acier des corps magnétiques, pour les diſtinguer des autres.

Mais ſi la matiére magnétique paſſe librement à travers de tout corps non-magnétique, quel rapport auroit-elle avec ceux qui le ſont? Nous venons de voir que le tourbillon magnétique entre par l'un des poles de chaque aimant, & ſort par l'autre, d'où l'on pourroit conclurre qu'il traverſe auſſi librement les aimants; ce qui ne le diſtingueroit pas des autres. Mais quand la matiére magnétique ne traverſe les aimants que d'un pole à l'autre, c'eſt une circonſtance bien diférente de celle qui a lieu dans les autres. Voilà donc le caractère diſtinctif. Les corps non magnétiques ſont traverſés librement par la matiére magnétique en tout ſens : les aimants n'en ſont traverſés que dans un ſeul ſens, l'un des poles étant deſtiné à l'entrée & l'autre à la ſortie. Mais le fer & l'acier, aimantés, n'en ſont traverſés que dans un ſeul ſens, ſelon la nature des poles magnétiques, & quand ces corps ne ſont pas encore aimantés, on peut dire qu'ils n'accordent point un paſſage libre à la matiére magnétique dans aucun ſens.

Cela paroît étrange, puiſque le fer a des pores ouverts, qui tranſmettent l'éther même, qui n'eſt pourtant pas ſi ſubtil que la matiére magnétique. Mais il faut bien diſtinguer un paſſage ſimple, d'un autre où la matiére magné-

tique puiſſe traverſer le corps avec toute ſa rapidité ſans rencontrer aucun obſtacle.

le 31 *d'Octobre* 1761.

LETTRE CLXXVII.

Il s'en faut bien, que je prétende expliquer parfaitement les phénomênes du magnétiſme ; j'y trouve des difficultés que je n'ai pas rencontrées dans ceux de l'électricité. La cauſe en eſt, ſans-doute, que l'électricité conſiſte dans un trop grand ou trop petit dégré de compreſſion d'un fluide ſubtil qui occupe les pores des corps, ſans que ce fluide ſubtil, qui eſt l'éther, ſe trouve dans un mouvement actuel, mais le magnétiſme ne ſauroit être expliqué, ſans ſuppoſer un tourbillon rapidement agité, qui pénêtre les corps magnétiques.

La matiére qui conſtitue ces tourbillons eſt auſſi beaucoup plus ſubtile que l'éther, & traverſe librement les pores des aimants qui ſont impénètrables à l'éther même. Or cette matiére magnétique eſt répandue & mêlée dans l'éther comme l'éther avec l'air groſſier, ou ainſi qu'il occupe & remplit les pores de l'air, on peut dire, que la matiére magnétique eſt renfermée dans les pores même de l'éther.

Je conçois donc que l'aimant & le fer ont des pores ſi petits, que l'éther tout entier n'y ſauroit

entrer & qu'il n'y a que la matiére magnétique qui puisse les pénètrer, & qui, en y entrant, se sépare de l'éther, desorte qu'il s'y fait, pour ainsi dire, une filtration. Ce n'est donc que dans les pores de l'aimant que la matiére magnétique se trouve toute pure; par-tout ailleurs elle est mêlée & dispersée par l'éther, comme l'éther lui-même l'est par la masse de l'air.

V. A. imaginera aisément plusieurs fluides, dont l'un est toujours plus subtil que l'autre, & qui sont parfaitement mêlés ensemble. La nature nous en offre des éxemples précis. Nous savons que l'eau renferme dans ses pores des particules d'air, que nous y voyons souvent monter en forme de petites bulles; il n'y a plus de doute encore que l'air ne renferme dans ses pores un fluide incomparablement plus subtil, qui est l'éther, & qui s'en sépare même en plusieurs occasions, comme dans l'électricité. Nous voyons à présent que cette progression va plus loin, & que l'éther contient encore une matiére beaucoup plus subtile; c'est la matiére magnétique, qui peut-être en renferme d'autres encore plus subtiles, cela n'est du moins pas impossible.

Après avoir établi cette matiére magnétique, voyons comment elle produit ses phénomênes. Je considère d'abord un aimant, & je dis, qu'outre une très-grande quantité de pores remplis d'éther, comme tous les autres corps, il en contient encore de beaucoup plus étroits, où la matiére magnétique seule peut entrer. En

ſecond lieu, que ces pores ſont diſpoſés de maniére à avoir une communication entr'eux, & conſtituent des tuyaux ou canaux, par leſquels elle paſſe d'un bout à l'autre. Enfin, que cette matiére ne ſauroit paſſer par ces tuyaux que dans un ſens, ſans pouvoir retourner dans le ſens contraire: cette circonſtance, très-eſſentielle, demande un plus grand éclairciſſement.

Je remarque donc d'abord, que les veines & les vaiſſeaux lymphatiques dans les corps des animaux, ſont des tuyaux d'une conſtruction ſemblable, qui renferment des ſoupapes, repréſentées dans la *fig.* 7. *Tab. II.* par les traits *mn*, dont la fonction eſt, que tant que le ſang coule de A vers B, elles ſe lèvent & lui accordent un libre paſſage, mais qui l'empèchent de refluer de B vers A.

Car ſi le ſang vouloit couler de B vers A, il pouſſeroit le bout libre de la ſoupape *m* vers le côté *o* de la veine & la ſoupape fermeroit le paſſage entiérement; on ſe ſert ainſi de ſoupapes dans les conduits d'eau, pour empècher qu'elle ne puiſſe retourner. Je crois donc de ne rien ſuppoſer qui ſoit contraire à la nature, quand je dis que les canaux, dans les aimants, qui n'admettent que la matiére magnétique, ſont de la même conſtruction.

La *fig.* 8. *Tab. II.* repréſente ce canal magnétique, comme je l'imagine. Je le conçois garni en-dedans de poils dirigés de A vers B, qui n'oppoſent aucun obſtacle à la matiére magné-

tique, quand elle paſſe de A vers B, puiſqu'alors ils s'ouvrent d'eux-mêmes en *n*, pour laiſſer paſſer la matiére en *o*; mais ils fermeroient d'abord le paſſage, ſi elle vouloit rétrograder de B vers A. La nature des canaux magnétiques conſiſte donc à ne permettre d'entrée à la matiére magnétique qu'au bout A, pour couler vers B, ſans aucun empêchement, ſans qu'il ſoit poſſible qu'elle les traverſe en ſens contraire de B vers A.

Cette conſtruction nous met en état d'expliquer comment la matiére magnétique entre dans ces tuyaux, & les traverſe avec la plus grande rapidité, lors même que l'éther tout entier eſt dans un repos parfait, ce qui eſt le plus ſurprenant: car qui peut produire un mouvement ſi rapide? C'eſt ce qui paroîtra très-clair à V. A., ſi elle veut bien ſe ſouvenir que l'éther eſt une matiére extrêmement élaſtique; ainſi la matiére magnétique, qui eſt diſperſée, en ſera preſſée de toutes parts. Que le canal magnétique AB ſoit encore tout-à-fait vuide, & qu'il ſe trouve à l'entrée A une molécule de matiére magnétique *m*, qui ſoit preſſée de toute part où elle touche le canal, où l'éther ne ſauroit entrer, elle y ſera pouſſée avec la plus grande force; elle y entrera donc avec la même rapidité; bientôt une autre molécule de matiére magnétique, dont l'éther eſt copieuſement chargé, s'y préſentera encore & y ſera pouſſée avec la même force; & ainſi des molécules ſuivantes; il en réſultera donc un flux conti-

nuel de matiére magnétique qui, ne rencontrant aucun obſtacle dans ce canal, ſortiroit en B avec la même rapidité qu'il entre en A.

Je conçois donc que tout aimant contient une grande multitude de ces canaux que je nomme magnétiques, & il s'enſuit très-naturellement, que la matiére magnétique diſperſée par l'éther, doit y entrer par un bout & ſortir par l'autre avec impétuoſité; ou bien nous aurons un courant perpétuel de matiére magnétique par les canaux de l'aimant: j'eſpère avoir ſurmonté par-là les plus grands obſtacles qui puiſſent ſe rencontrer dans la théorie du magnétiſme.

le 3 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXVIII.

V. A. a vu en quoi conſiſte le caractère diſtinctif des aimants, & que chaque aimant eſt pourvu de pluſieurs canaux dont je viens de donner la deſcription.

La *fig.* I. *Tab. III.* repréſente un aimant AB avec trois canaux magnétiques *ab*, par leſquels la matiére magnétique coulera avec la plus grande rapidité, en entrant par les bouts *a*, & ſortant par ceux *b*: elle en ſortiroit bien avec la même rapidité, mais rencontrant d'abord de l'éther mêlé dans l'air groſſier, de grands obſtacles s'oppoſeront à la continuation de ſon

mouvement ſelon ſa direction, & non-ſeulement ſon mouvement ſera rallenti, mais ſa direction détournée vers les côtés *c c*. Il en ſera de même à l'entrée, vers les bouts *a a a*, à cauſe de la rapidité avec laquelle les molécules de matiére magnétique y entrent, le tour viendra bientôt à celles qui ſont encore vers les côtés *e e*, qui à leur tour ſeront remplacées par celles qui, ſorties des bouts *b b b*, ont été déja détournées vers *c c*, enſorte que bientôt, la même matiére magnétique ſortie par les bouts *b b b* retourne vers ceux *a a a* en faiſant le tour *b c d e a*; & ce mouvement autour de l'aimant, ſera ce que nous nommons *tourbillon magnétique.*

Il ne faut pourtant pas s'imaginer que ce ſoit toujours la même matiére magnétique, qui forme ces tourbillons; une bonne partie s'en échappera ſans-doute, tant vers B que vers les côtés, en faiſant le tour; mais, en récompenſe, il entrera par les bouts *a a a* de nouvelle matiére magnétique, deſorte que la matiére qui conſtitue le tourbillon, eſt compenſée & bien variable; il ſe conſervera cependant toujours un tourbillon magnétique, dont l'aimant ſera entouré, & qui produit les phénomènes obſervés ci-deſſus dans la limaille de fer, qu'on jette autour de l'aimant.

V. A. voudra bien faire attention que le mouvement de la matiére magnétique dans le tourbillon, eſt incomparablement plus lent hors de l'aimant, que dans les tuyaux magnétiques où

elle eſt ſéparée de l'éther, après y avoir été pouſſée par toute la force élaſtique de ce dernier; & qu'en ſortant, elle s'y mêle de nouveau, & doit y perdre la plus grande partie de ſon mouvement, ce qui fait que ſa viteſſe pour rentrer par les bouts *a a a* eſt incomparablement moindre que dans les canaux magnétiques *ab*, quoique très-grande encore à notre égard. V. A. comprendra donc aiſément, que les bouts des canaux magnétiques, par leſquels la matiére entre & ſort de l'aimant, ſont ce que nous nommons ſes poles, & que les poles magnétiques d'un aimant ne ſont rien moins que des points mathématiques, toute la place où les bouts des canaux magnétiques aboutiſſent, étant un pole magnétique, comme dans l'aimant repréſenté *fig. 6. Tab. II.* où toutes les ſurfaces A & B ſont les deux poles.

Or comme ces poles ſont diſtingués en boréal & méridional, on ne ſauroit dire ſi c'eſt par le boréal ou le méridional, que la matiére magnétique entre dans les aimants. V. A. verra dans la ſuite, que tout phénomène produit par l'entrée & la ſortie, ſe reſſemble ſi parfaitement, qu'il paroit impoſſible de décider cette queſtion par les expériences. Il ſera donc indiférent de ſuppoſer, que la matiére magnétique entre ou ſorte par le pole boréal, ou par le méridional.

Quoiqu'il en ſoit, je déſignerai par la lettre A, le pole où la matiére magnétique entre, & par B, celui où elle ſort, ſans me ſoucier le-

quel eſt boréal ou méridional. Je paſſe à ces tourbillons, pour juger comment deux aimants agiſſent l'un ſur l'autre.

Suppoſons, *Tab. III. fig.* 2. que deux aimants AB & *ab* ſe regardent par les poles de même nom A, *a*, & leurs tourbillons ſeront tout-à-fait contraires entr'eux. La matiére magnétique qui eſt en C entrera par A & par *a*, & ces deux tourbillons tâchant de ſe détruire l'un l'autre, la matiére qui avance par E pour rentrer en A rencontrera en D celle de l'autre aimant, qui revient par *e* pour rentrer en *a*; il devra naître un choc entre les deux tourbillons où l'un repouſſera l'autre; & cet effet réjaillit ſur les aimants mêmes, qui, dans cette ſituation, ſe repouſſent l'un l'autre. La même choſe arriveroit ſi les deux aimants ſe regardoient par les autres poles B & *b*; c'eſt pourquoi on nomme les poles du même nom *ennemis*, parcequ'ils ſe repouſſent actuellement.

Mais s'ils ſe regardent par les poles de diférent nom, il s'enſuivra un effet contraire & V. A. voit déja, qu'ils doivent s'attirer.

Dans la *fig.* 3. *Tab. III.* où les deux aimants ſe regardent par les poles B & *a*, la matiére magnétique qui ſort par le pole B, trouvant d'abord la commodité d'entrer dans l'autre aimant par ſon pole *a*, ne ſe détournera point vers les côtés pour rentrer en A, mais paſſera directement par C dans l'autre aimant, pour en ſortir en *b*, & faire le tour par les côtés *d d* pour retourner, non pas au pole *c*, mais à ce-

lui A de l'autre aimant, en faiſant le tour par *e* & *f*. Ainſi les tourbillons de ces deux aimants ſe réuniront en un ſeul, comme s'il n'y avoit qu'un aimant; & ce tourbillon étant comprimé de toutes parts par l'éther, pouſſera les deux aimants l'un vers l'autre, tellement qu'ils paroîtront s'attirer mutuellement.

Voilà pourquoi les poles de diférens noms ſont appellés *amis*, & ceux du même nom *ennemis*, phénomène principal des aimants, en ce que les poles de diférens noms s'attirent & ceux du même nom ſe repouſſent.

le 7 Novembre 1761.

LETTRE CLXXIX.

APRÈS avoir établi la nature de l'aimant dans ces canaux que la matiére magnétique peut traverſer dans un ſeul ſens, parceque les ſoupapes, dont ces canaux ſont parſemés, empêchent le retour en ſens contraire, V. A. ne doutera point qu'ils ſont la continuation de ces pores *fig.* 8. *Tab. II.* dont les poils *n* ſont dirigés en même ſens, deſorte que pluſieurs ſemblables particules étant jointes enſemble & dirigées en même ſens conſtituent un canal magnétique. Il ne ſuffit donc pas que la matiére de l'aimant renferme pluſieurs particules ſemblables, il faut encore qu'elles ſoient diſpoſées

ensorte qu'il en résulte des canaux continués d'un bout à l'autre, afin que la matiére magnétique puisse les traverser.

Il y a donc apparence que le fer & l'acier contiennent de ces particules en grande abondance, qui ne sont pas disposées comme je viens de les décrire, mais dispersées par toute la masse, & qu'il n'y manque que cette disposition pour être de vrais aimants. Ils conservent bien alors toutes leurs autres qualités, & ne se distinguent des autres morceaux de fer & d'acier, que parcequ'ils ont de plus les propriétés de l'aimant; une aiguille & un couteau, avec ou sans vertu magnétique, rendent les mêmes services. Le changement qui se fait dans l'intérieur en rangeant les particules dans l'ordre qu'éxige le magnétisme, ne sauroit être remarqué par dehors, & le fer soit acier qui a acquis la force magnétique, est nommé aimant artificiel, pour le distinguer de l'aimant naturel, qui ressemble à une pierre, quoique les propriétés magnétiques soient les mêmes dans les uns & dans les autres. V. A. sera sans-doute curieuse d'apprendre de quelle maniére le fer & l'acier peuvent être portés à recevoir la force magnétique, & devenir des aimants artificiels? Rien n'est si simple, & le voisinage d'un aimant est capable de rendre le fer un peu magnétique; c'est le tourbillon magnétique qui produit cet effet, sans que le fer touche l'aimant.

Quelque dur que nous paroisse le fer, les

particules qui renferment les pores magnétiques repréſentés ci-deſſus, ſont très-mobiles dans ſa ſubſtance & la moindre force ſuffit pour changer leur ſituation. La matiére magnétique du tourbillon, en entrant dans le fer, diſpoſera donc aiſément les premiers pores magnétiques qu'elle y rencontre, ſuivant ſa direction, au moins ceux dont la ſituation n'eſt pas fort différente; & les ayant traverſés, elle agira de la même maniére ſur les pores ſuivans: juſqu'à ce qu'elle ſe ſoit pratiqué un paſſage au travers du fer, & formé par-là quelques canaux magnétiques. La figure du fer contribue beaucoup à faciliter ce changement; une figure allongée & placée ſelon la direction du tourbillon, y eſt la plus propre, puiſque la matiére magnétique en paſſant par toute la longueur, y diſpoſe beaucoup de particules dans leur juſte ſituation, pour former des canaux magnétiques plus longs, & il eſt ſûr, que plus il y aura de quoi former des canaux, plus ils ſeront longs, ſans interruption, & plus le mouvement de la matiére magnétique ſera fort, & la force magnétique plus grande.

On a remarqué auſſi que, lorſqu'on ſécoue fortement, qu'on frappe le fer poſé dans un tourbillon magnétique, il en acquiert un plus haut dégré de magnétiſme, parce que les moindres particules ſont ébranlées & déliées par ces ſecouſſes, pour ſe prêter plus facilement à l'action de la matiére magnétique qui les pénètre. Ainſi poſant *Tab. III. fig.* 4. une petite barre

de fer *ab* dans le tourbillon de l'aimant AB, enforte que fa direction *ab* convienne à-peu-près avec celle du courant *d e f* de la matiére magnétique, elle traverfera aifément la barre & y formera des canaux magnétiques, fur-tout quand on fécoue ou frappe cette barre en même tems, pour faciliter le paffage. On voit auffi que la matiére magnétique qui entre par le pole A & fort par le pole B de l'aimant, entrera dans la barre par le bout *a* & fortira par le bout *b*, deforte que le bout *a* deviendra le pole du même nom A, & *b* de celui B. Otant puis cette barre *ab* du tourbillon magnétique, elle fera un aimant artificiel, quoique bien foible, qui fournira fon propre tourbillon & confervera fa force tant que les canaux magnétiques n'y feront point interrompus. Ce qui arrivera d'autant plus aifément que les pores du fer font mobiles; ainfi la même circonftance qui aide à produire le magnétifme, fert auffi à le détruire. Un aimant naturel n'eft pas autant fujet à l'affoibliffement, parceque fes pores font beaucoup plus fermes, & qu'il faut des efforts plus confidérables pour les déranger; j'en parlerai plus en détail dans la fuite.

Je me propofe d'expliquer ici la maniére la plus naturelle de rendre le fer magnétique, quoique la force qu'il en acquiert foit très-petite, cela nous fervira à comprendre ce phénomène remarquable & affez univerfel. On a obfervé que les pincettes de cheminée & autres meubles de fer qu'on tient ordinairement dans

une ſituation verticale, ainſi que les barres de fer qu'on met ſur les clochers, acquiérent avec le tems une force magnétique aſſez ſenſible; auſſi s'eſt-on apperçu qu'une barre de fer battue dans une ſituation verticale, ou rougie au feu, étant trempée dans l'eau froide dans la même ſituation, devient un peu magnétique, ſans l'approche d'aucun aimant.

Pour avoir la raiſon de ce phénomène V. A. n'a qu'à ſe ſouvenir que la terre eſt elle-même un aimant, & conſéquemment entourée d'un tourbillon magnétique, dont la déclinaiſon & l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée montre partout la véritable direction; ſi donc une barre de fer ſe trouve long-tems dans cette ſituation, nous n'avons pas lieu d'être ſurpris qu'elle devienne magnétique. Nous avons vu auſſi, que l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée eſt à Berlin de 72 dégrés & comme dans prèſque toute l'Europe, elle eſt à-peu-près la même, cette inclinaiſon ne difère que de 18° de la ſituation verticale; ainſi la ſituation verticale ne difère pas beaucoup de la direction du tourbillon magnétique: une barre de fer qu'on a tenu long-tems dans cette ſituation, ſera enfin pénètrée par le tourbillon magnétique, & doit acquérir par conſéquent une force magnétique.

En d'autres contrées, où l'inclinaiſon eſt inſenſible, ce qui arrive près de l'équateur, ce n'eſt plus la même direction qui rend les barres de fer magnétiques, mais plutôt l'horizontale, enſorte que leur direction convienne avec

la déclinaiſon magnétique, ſi l'on veut qu'elles acquiérent une force magnétique. Je ne parle ici que du fer, l'acier eſt trop dur pour cela, il faut employer des moyens plus éficaces pour le rendre magnétique.

le 10 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXX.

QUOIQUE la terre entiére puiſſe ètre conſidérée comme un grand aïmant, & qu'elle ſoit environnée d'un tourbillon magnétique, qui dirige par-tout les aiguilles aimantées, ſa force magnétique eſt pourtant très-foible & beaucoup moindre que celle d'un aimant très-médiocre, ce qui paroît fort étrange à cauſe de l'énorme grandeur de la terre.

C'eſt, ſans-doute, parceque nous ſommes très-éloignés des véritables poles magnétiques de la terre, qui, ſelon toute apparence, ſont enſévelis bien profondément: or, quelque fort que ſoit un aimant, ce n'eſt que très-près de lui que ſa force eſt conſidérable; & plus on s'en éloigne, plus elle devient petite & s'évanouït enfin. C'eſt pourquoi la force magnétique qu'acquiérent avec le tems des maſſes de fer ſituées convenablement dans le tourbillon de la terre, n'eſt que très-petite, & à peine ſenſible, à moins que le fer ne ſoit très-mol &

qu'il n'ait une figure propre à produire un tourbillon, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A.

Cet effet eſt beaucoup plus conſidérable près d'un aimant médiocre: de petites maſſes de fer y acquiérent bien vite une force magnétique très-ſenſible, auſſi ſont-elles attirées vers l'aimant, au lieu que cet effet eſt imperceptible dans le tourbillon de la terre, & ne conſiſte qu'à diriger les aiguilles aimantées, ſans les attirer, ni augmenter leur poids.

Une maſſe de fer *Tab. III. fig.* 5. plongée dans le tourbillon d'un aimant, nous offre auſſi des phénomènes très-curieux, qui méritent bien une explication particuliére; non-ſeulement cette maſſe eſt d'abord attirée vers l'aimant, mais elle attire elle-même d'autres morceaux de fer. Soit AB un aimant naturel, dans le voiſinage duquel près du pole B, on place la maſſe de fer CD, & l'on verra, qu'elle eſt capable de ſoutenir une barre de fer EF. Qu'on y applique en F une règle de fer GH, dans une ſituation quelconque, par exemple horizontale, en la ſoutenant en H, & l'on s'appercevra qu'elle n'eſt pas ſeulement attirée par la barre en F mais qu'elle eſt encore capable de ſupporter en H des aiguilles comme IA, & que ces aiguilles agiſſent auſſi ſur de la limaille de fer L, en l'attirant.

On peut propager ainſi la force magnétique à des diſtances très-conſidérables, & même la faire changer de direction, par la diverſe poſi-

tion

tion de ces piéces de fer, quoiqu'elle diminue de plus-en-plus. V. A. ſent bien, que plus l'aimant AB eſt fort par lui-même & plus la premiére maſſe CD en eſt près, plus auſſi l'effet eſt conſidérable. Feu Mr. de Maupertuis avoit un gros aimant ſi excellent, qu'à la diſtance de pluſieurs pieds, la maſſe de fer CD éxerçoit encore une force très-conſidérable.

Pour expliquer ces phénomènes, V. A. n'a qu'à conſidérer que la matiére magnétique qui ſort rapidement par le pole B de l'aimant, entre dans la maſſe de fer & en diſpoſe les pores à former des canaux magnétiques, qu'elle traverſe enſuite librement. De même, en entrant dans la barre, elle ſe formera des canaux magnétiques & ainſi de ſuite. Et puiſque la matiére magnétique en ſortant d'un corps entre dans un autre, ces deux corps doivent s'attirer mutuellement, par la même raiſon que j'ai prouvé que deux aimants qui ſe regardent par leurs poles amis doivent s'attirer; & toutes les fois que nous voyons que deux fers s'attirent, nous pouvons conclurre ſûrement que la matiére magnétique qui ſort de l'un, entre dans l'autre, par le mouvement continuel avec lequel elle s'introduit dans ces corps. C'eſt ainſi que, dans la diſpoſition mentionnée des piéces de fer, la matiére magnétique les enfile toutes par ſon mouvement, ſeule raiſon de leur attraction mutuelle.

Les mêmes phénomènes arrivent encore, lorſqu'on tourne vers la maſſe de fer, l'autre

pole A de l'aimant, où entre la matiére magnétique: le mouvement devient alors rétrograde, & conſerve la même route; car la matiére magnétique contenue dans la maſſe de fer, s'en échappera alors pour ſe précipiter dans l'aimant, & fera en s'échappant les mêmes efforts pour y ranger les pores convenablement, que ſi elle entroit avec rapidité dans le fer. Il faut donc pour cela que le fer ſoit aſſez mol, & que ſes pores fléchiſſent aiſément, pour obéir aux efforts de la matiére magnétique. Une difficulté que V. A. trouvera ſans-doute, conſiſte à expliquer pourquoi la matiére magnétique, en entrant dans une autre piéce de fer, change de direction & ſe règle ſuivant la longueur des piéces, comme j'ai repréſenté ſon cours dans la figure? C'eſt un article fort important dans la théorie du magnétiſme, & qui nous fait voir combien la figure des piéces de fer contribue à la production des phénomènes magnétiques.

Pour éclaircir cette circonſtance, il faut ſe ſouvenir que notre matiére ſubtile ſe meut très-aiſément dans les pores magnétiques où elle eſt ſéparée de l'éther, & qu'elle rencontre des obſtacles très-conſidérables, lorſqu'elle s'échappe des pores magnétiques avec toute ſa viteſſe pour rentrer dans l'éther & dans l'air.

Suppoſons *Tab. III. fig. 6.* que la matiére magnétique, après avoir traverſé la barre de fer CD entre dans la règle de fer EF poſée perpendiculairement. Elle conſerveroit bien en entrant

la même direction pour sortir en *m*, si elle ne trouvoit pas une route plus aisée pour continuer son mouvement: mais rencontrant en *m* les plus grands obstacles, elle change d'abord tant soit peu de direction vers F; où trouvant des pores propres à la continuation de son mouvement, elle se détournera de plus en plus de sa premiére direction, pour traverser la règle EF dans toute sa longueur; & comme si la matiére magnétique évitoit de sortir du fer, elle tâche d'y continuer son mouvement tant qu'elle peut, en profitant de la longueur de la règle; mais elle sortiroit sans-doute en *m*, si la règle étoit très-courte. Or la longueur de la règle lui offrant un espace à parcourir, elle suit la direction EF, jusqu'à ce qu'elle soit obligée de s'échapper en F, où tous les canaux magnétiques, formés selon la même direction, ne permettent plus que la matiére subtile près de F, puisse encore changer de direction & retourner le long de la règle; ces canaux étant non-seulement remplis de la matiére qui traverse, mais incapables par leur nature, de recevoir du mouvement en sens contraire.

le 14 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXI.

V. A. vient de voir comment le fer peut recevoir le courant magnétique d'un aimant, le conduire à des diſtances aſſez conſidérables, & même en changer la direction. Joindre un aimant à des piéces de fer, eſt donc à-peu-près la même choſe que l'agrandir, puiſque le fer acquiert la même nature à l'égard de la matiére magnétique; & comme on peut encore par ce moyen changer la direction du courant magnétique, puiſque les poles ſont les endroits où la matiére magnétique entre & ſort de l'aimant, on eſt maître de tranſporter les poles où l'on veut.

C'eſt ſur ce principe qu'eſt fondée l'armature des aimants, qui mérite bien que j'en donne une idée à V. A. puiſque les aimants ſont portés par-là à un plus haut dégré de force.

On donne ordinairement aux aimants, en les tirant des mines, *Tab. III. fig.* 7. la figure d'un parallelépipéde ou d'un parallélogramme rectangle avec une épaiſſeur comme A A B B, dont la face A A ſoit le pole où la matiére magnétique entre, & B B celui où elle ſort. Il eſt donc rempli ſelon la longueur A B des canaux magnétiques *a b*, que la matiére magnétique traverſe librement ſans mêlange d'aucun éther, avec la plus grande rapidité,

poussée par la force élastique de l'éther. Voyons maintenant de quelle maniére on est accoutumé d'armer un aimant pareil.

On applique à chaque face A A & B B *Tab. III. fig.* 8. où se trouvent les deux poles de l'aimant, des plaques de fer *a a* & *b b* terminées en bas en boutons 𝔄 & 𝔅; qu'on nomme les pieds; c'est ce qu'on appelle l'armature de l'aimant, & on dit alors qu'il est armé. Dans cet état, la matiére magnétique, qui feroit échappée par la face BB entre dans la plaque de fer *b b*, où la difficulté de s'échaper suivant sa direction dans l'air, l'oblige de changer de direction & de couler le long de la plaque *b b* dans le pied 𝔅, où elle est bien obligée de sortir, ne trouvant plus de fer pour continuer son mouvement. Il en est de même de l'autre côté, la matiére subtile y sera conduite par le pied 𝔄, d'où elle passera par la plaque *a a* en changeant de direction pour entrer dans l'aimant & y parcourir les canaux magnétiques. Car la matiére subtile contenue dans la plaque entre d'abord dans l'aimant; elle est suivie par celle qui se trouve dans le pied 𝔄, remplacée à son tour par celle dedehors, qui y étant poussée par l'élasticité de l'éther, pénètre le pied 𝔄 & la plaque *a a* avec une rapidité, dont la véhémence est capable d'y arranger les poles, & de former des canaux magnétiques.

L'on voit par-là que le mouvement doit être le même des deux côtés, avec cette difé-

rence, que la matiére magnétique entrera par le pied 𝔄 & fortira par le pied 𝔅, deforte que c'eſt dans ces pieds que ſe trouvent les poles de l'aimant armé; & comme les poles répandus auparavant par les faces A A & B B ſont à préſent réunis dans les baſes des pieds 𝔄 & 𝔅, il eſt très-naturel que la force magnétique doit être conſidérablement plus grande dans ces nouveaux poles.

Auſſi, dans cet état, le tourbillon magnétique ſe formera-t-il plus aiſément: la matiére magnétique qui ſort par le pied 𝔅 retournera facilement dans le pied 𝔄, en paſſant par C & le reſte du corps de l'aimant ne ſera plus entouré d'aucun tourbillon, ſi quelque peu de matiére magnétique n'échappe pas par la plaque *b b*, pour n'avoir pû changer ſi ſubitement: & s'il n'en entre quelque peu par la plaque *a a*, d'où naîtroit un foible tourbillon, qui conduiroit la matiére ſubtile immédiatement par la plaque *b b* en *a a;* cependant ſi l'armature eſt bien faite, ce ſecond tourbillon eſt preſque inſenſible, & par conſéquent le courant entre les pieds eſt d'autant plus fort.

La règle principale pour bien armer les aimants, eſt de bien polir tant les deux faces A A & B B de l'aimant que les plaques de fer, deforte qu'en les appliquant, elles touchent parfaitement l'aimant par-tout, la matiére ſubtile paſſant aiſément de l'aimant dans le fer, quand il n'y a point d'autre matiére entr'eux; mais s'il y avoit un vuide ou de l'air entre

l'aimant & les plaques, la matiére magnétique perdroit prèſque tout ſon mouvement, ſon cours ſeroit interrompu, & ne ſuffiroit plus pour ſe frayer le chemin par le fer, en y formant des canaux magnétiques.

Le fer le plus mol & le plus doux eſt à préférer pour ces armatures, parceque ſes pores ſe plient & ſe rangent fort aiſément ſelon le courant de la matiére magnétique; auſſi ce fer paroit-il très-propre à faire changer ſubitement la direction du courant; il ſemble même que la matiére magnétique afecte d'y pourſuivre ſa route auſſi longtems qu'il eſt poſſible, & n'en ſort, que lorſqu'elle ne peut plus y continuer ſon mouvement: elle aime mieux faire de grands tours que de le quitter. Ce qui n'arrive pas dans l'aimant même, où les canaux magnétiques ſont déja formés, ni dans l'acier, dont les pores n'obéiſſent pas ſi aiſément aux efforts d'un courant magnétique. Mais quand une fois ces canaux ſont formés dans l'acier, ils ſe maintiennent plus longtems, & conſervent leur force magnétique; tandis que le fer doux, quelque force qu'il ait éxercé dans ſa jonction avec un aimant, la perd prèſque tout-à-fait, dès qu'on l'en ſépare.

Il faut conſulter l'expérience pour les autres circonſtances de l'armature; on trouve quant aux plaques, que trop ou trop peu d'épaiſſeur ſont nuiſibles; mais d'ordinaire, les plaques les plus convenables ſont très-minces, ce qui

paroîtroit fort étrange, si nous ne savions pas que la matiére magnétique est beaucoup plus subtile que l'éther, & que, par conséquent, la plaque la plus mince est suffisante pour en recevoir une très-grande quantité.

le 17 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXII.

C'EST donc aux pieds de son armature, qu'un aimant exerce sa plus grande force, puisque ses poles y sont réunis; & chaque pied est capable de supporter un poids de fer, d'autant plus grand, que l'aimant est bon & excellent.

Ainsi *Tab. III. fig.* 9. un aimant A A B B armé de plaques de fer *a a* & *b b* terminées par les pieds 𝔄 & 𝔅, portera non-seulement par le pied 𝔄 la règle de fer CD, mais celle-ci en portera une autre plus petite GH, qui portera à son tour encore une aiguille IK, qui enfin attirera de la limaille de fer L; parceque la matiére magnétique enfile toutes ces piéces pour entrer dans le pole 𝔄; ou si c'étoit l'autre pole, par lequel la matiére magnétique sort de l'aimant, elle enfileroit de la même maniére les piéces CD, EF, GH, IK; or toutes les fois que la matiére, en sortant d'une piéce de fer, entre dans une autre, on

obſerve une attraction entre les deux piéces, ou plutôt elles ſont pouſſées l'une à l'autre par l'éther environnant, parce que le courant de la matiére magnétique entr'elles, diminue la preſſion de l'éther.

Quand on charge ainſi l'un des poles de l'aimant, ſon tourbillon ſouffre un changement de direction très-eſſentiel; car comme, ſans cette charge, la matiére magnétique qui ſort du pole 𝔅 en détournant ſon cours coule vers l'autre pole 𝔄, maintenant l'entrée dans ce pole étant ſuffiſamment fournie par les piéces ſoutenues, il faut bien que la matiére qui ſort du pole 𝔅 prenne un tout autre chemin qui la conduiſe enfin à la derniére piéce IK. Une portion en ſera ſans-doute auſſi portée vers la pénultiéme GH & vers les précédentes, puiſque les ſuivantes comme plus petites ne fourniſſent pas ſuffiſamment aux précédentes, mais toujours le tourbillon s'étendra juſqu'à la derniére. Par ce moyen, en proportionnant bien toutes ces piéces entr'elles, en longueur & en épaiſſeur, l'aimant eſt capable d'en porter beaucoup plus, que ſi on le chargeoit d'une ſeule piéce, où la figure entre auſſi principalement en conſidération. Mais pour lui faire porter la plus grande charge qu'il ſoit poſſible, il faut faire enſorte que les deux poles réuniſſent leurs forces.

Pour cet effet on applique *Tab. IV. fig.* 1. aux deux poles 𝔄 & 𝔅 un morceau de fer doux CD, qui touche parfaitement les baſes

des pieds, & dont la figure ſoit telle, que la matiére magnétique qui ſort par 𝔅, y trouve le paſſage le plus commode pour rentrer par l'autre bout 𝔄; un morceau de fer pareil s'appelle ſupport de l'aimant, & comme la matiére magnétique y entre en ſortant de l'aimant en 𝔅, & rentre dans l'aimant en 𝔄 en ſortant du ſupport, celui-ci ſera attiré aux deux poles à la fois, & y tiendra par conſéquent avec une très-grande force. Pour connoître celle que l'aimant y éxerce, on attache au ſupport par le milieu F un poids, qu'on augmente juſqu'à ce que l'aimant ne ſoit plus capable de le ſoutenir, & on dit alors que ce poids contrebalance la force magnétique de l'aimant: c'eſt ce que V. A. doit entendre quand on dit, que tel aimant porte dix livres, un autre trente livres &c. On prétend que le cercueil de Mahomet eſt porté par la force d'un aimant, ce qui ne ſeroit pas impoſſible, puiſqu'on a déja fait des aimants artificiels qui portent au-delà de 100 livres.

Un aimant garni de ſon ſupport, ne perd rien de la matiére magnétique, qui achève ſon tourbillon entier au-dedans de l'aimant & du fer, deſorte que rien n'en échappe dans l'air. Puis donc que le magnétiſme n'éxerce ſa force qu'autant que la matiére magnétique s'échape d'un corps pour rentrer dans l'autre, un aimant dont le tourbillon eſt fermé, ne devroit éxercer nulle-part de force magnétique: cependant quand on le touche ſur la plaque en *a*

avec la pointe d'une aiguille, on y ſent une forte attraction, parceque la matiére magnétique étant obligée de changer ſubitement de direction pour entrer dans les canaux de l'aimant, trouve une route plus commode en traverſant l'aiguille, qui par conſéquent ſera attirée à la plaque *a a*. Mais, par là même, le tourbillon ſera dérangé en-dedans, il ne coulera plus ſi copieuſement dans les pieds; & ſi l'on touche la plaque par pluſieurs aiguilles, ou qu'on y aplique des régles de fer plus fortes, on détruira tout-à-fait le courant des pieds & la force qui attire le ſupport s'évanouïra entiérement, deſorte qu'il ſera arraché ſans effort; on reconnoit par-là, que les pieds perdent leur force magnétique d'autant que l'aimant en éxerce en d'autres endroits, & l'on eſt en état d'expliquer par ce moyen pluſieurs phénomênes très-ſurprenans, qui, ſans la théorie, feroient abſolument inſolubles.

C'eſt ici la place de l'expérience qui nous montre qu'après avoir appliqué à un aimant armé ſon ſupport, on peut augmenter de jour en jour le poids qu'il eſt capable de porter, qui pourra ſurpaſſer enfin le double de celui qu'il avoit porté d'abord. Il faut donc faire voir comment la force magnétique peut augmenter avec le tems dans les pieds de l'armature. Le cas rapporté ci-deſſus du dérangement du tourbillon nous apprend, qu'au moment qu'on applique le ſupport, le courant de matiére magnétique eſt encore aſſez irrégulier, qu'une

bonne partie s'en échapera encore par la plaque *bb*, & que ce ne ſera qu'avec le tems qu'elle ſe frayera des canaux magnétiques par le fer; auſſi eſt-il probable que, lorſque le courant eſt devenu plus libre, il s'en formera de nouveaux dans l'aimant même, entant qu'il contient, outre ſes canaux fixes, des poles mobiles comme le fer. Mais dès qu'on arrache le ſupport, le courant en étant troublé, & ces nouveaux canaux détruits en grande partie, la force redevient ſubitement auſſi petite qu'au commencement, & il faut attendre quelque tems, juſqu'à ce que ces canaux avec le tourbillon ſoient remis dans leur état précédent. J'avois fait autrefois un aimant artificiel, qui ne portoit d'abord que dix livres, & quelque tems après je fus très-ſurpris de voir qu'il en portoit plus de trente. On remarque, principalement dans les aimants artificiels, que le tems ſeul les renforce très-conſidérablement, mais que cet accroiſſement de force ne dure que juſqu'à ce qu'on en arrache le ſupport.

le 21 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXIII.

Après avoir expliqué à V. A. la nature des aimants en général, il me reſte un article auſſi curieux qu'intéreſſant, ſur la maniére dont on communique au fer & principalement à l'acier la force magnétique, & même la plus grande poſſible.

V. A. a bien vû que, plaçant du fer dans le tourbillon magnétique d'un aimant, il acquiert une force magnétique, mais qui s'évanouït prèſque tout-à-fait, dès qu'on l'éloigne de l'aimant, & que le tourbillon ſeul de la terre eſt capable d'imprimer au fer avec le tems une légére force magnétique; or l'acier étant plus dur que le fer, & prèſque tout-à-fait inſenſible à cette action du tourbillon magnétique, il faut des opérations plus fortes pour lui donner le magnétiſme, mais auſſi conſerve-t-il la force magnétique plus long-tems.

Il faut pour cela recourir à l'attouchement & même au frottement: je commencerai donc par expliquer de quelle méthode on ſe ſervoit ci-devant, pour rendre magnétiques les aiguilles dont on ſe ſert dans les bouſſoles; toute l'opération conſiſtoit à les frotter au pole d'un aimant excellent nud, ou armé.

On poſoit l'aiguille *a b c Tab. IV. fig.* 2. ſur une table, & on paſſoit le pole B de l'aimant

par deſſus, de *b* vers *a*, & étant parvenu au bout *a*, on levoit l'aimant bien haut & on le ramenoit par l'air en *b*, on répettoit cette opération pluſieurs fois de ſuite, en prenant bien garde que l'autre pole de l'aimant, qui auroit tout gâté, n'approchât point de l'aiguille. Après avoir paſſé quelquefois le pole B de l'aimant ſur l'aiguille de *b* en *a*, on verra que l'aiguille eſt devenue magnétique, & que le bout *b* ſera le pole du même nom que celui de l'aimant dont on a frotté. Si l'on veut que le bout *b* devienne le pole boréal, en frottant avec le pole boréal de l'aimant, il faut paſſer de *b* vers *a*; mais ſi l'on vouloit frotter avec le pole méridional, il faudroit l'appliquer au bout *a*, & le conduire à celui *b*.

Cette maniére de frotter ou toucher, eſt nommée à *ſimple touche*, puis qu'on ne touche que d'un ſeul pole; mais elle eſt fort défectueuſe, & ne communique que peu de force à l'aiguille, quelqu'excellent que fut l'aimant; auſſi ne réuſſit-elle pas, lorſque l'acier eſt porté au plus haut dégré de dureté, ce qui feroit pourtant l'état le plus propre pour la conſervation du magnétiſme. V. A. jugera elle-même fort aiſément des défauts de cette maniére à *la ſimple touche*.

Suppoſons que B ſoit le pole de l'aimant par où ſort la matiére magnétique, puiſque les effets des deux poles ſont ſi ſemblables, qu'il eſt impoſſible d'y remarquer la moindre diférence: ayant poſé le pole ſur le bout *b* de l'aiguil-

lé, la matiére magnétique y entre avec toute la rapidité dont elle ſe meut dans l'aimant, incomparablement plus grande que celle du tourbillon qui eſt dans l'air hors de l'aimant; mais que deviendra cette matiére dans l'aiguille? elle ne ſauroit ſortir par le bout *b*, elle s'efforcera donc de percer par l'aiguille vers *a*, & le pole B marchant du même côté favoriſera ces efforts; mais dès que le pole B parviendra vers *a*, la difficulté de ſortir par le bout *a* cauſera des efforts contraires, dont la matiére magnétique ſera pouſſée de *a* vers *b*; & avant que le premier effet ſoit entiérement détruit, celui-ci ne ſauroit avoir lieu. Enſuite quand on porte de nouveau le pole B ſur le bout *b*, on détruit encore ce dernier effet, mais pourtant ſans produire un courant en ſens contraire de *b* vers *a*, & par conſéquent, lorſque le pole B parviendra au-delà de *c* vers *a*, il produira plus aiſément un courant de *a* vers *b*, ſur-tout quand on appuyera plus ſur la moitié *ca*: d'où il eſt clair, que l'aiguille ne ſauroit acquérir que peu de force magnétique.

Quelques-uns auſſi ne frottent *Tab. III. fig.* 10. que la moitié *ca* en paſſant de *c* vers *a*, & d'autres ne font que toucher le bout *a* de l'aiguille par le pole B de l'aimant, & cela à-peu-près avec le même ſuccès. Mais il eſt évident que la matiére magnétique qui entre par le ſeul bout *a*, ne ſauroit agir aſſez vigoureuſement ſur les pores de l'aiguille, pour les arranger conformément à la nature magnétique, & que

la force qui lui ſera imprimée par cette méthode, doit être très-petite, & même nulle, ſi l'acier eſt bien trempé.

Il me ſemble donc qu'on pourroit rémédier à ces défauts de *la ſimple touche*, de la maniére ſuivante; du ſuccès de laquelle je ne doute point quoique je ne l'aye pas eſſayée encore, mais d'autres expériences m'en aſſurent.

Je voudrois *Tab. III. fig.* 11. enchaſſer le bout *b* de l'aiguille dans une règle de fer doux EF; & je crois qu'il ſeroit bon de faire cette règle très-mince & auſſi étroite que poſſible, mais le bout doit y être parfaitement appliqué & même enchaſſé dans un creux bien ajuſté. Quand on poſe le pole B de l'aimant ſur le bout *b* de l'aiguille, la matiére magnétique qui y entre, ne trouvant prêſqu'aucune difficulté à traverſer la règle de fer, prendra d'abord ſon cours dans la direction *b d*; & à meſure que le pole avance vers *a*, la matiére magnétique n'a pour continuer ce cours, qu'à arranger les pores ſur leſquels elle agit immédiatement; & quand on ſera parvenu juſqu'en *a*, tous ces pores, ou au moins la plûpart, ſeront déja diſpoſés ſuivant cette direction. Quand enſuite on recommence à frotter le bout *b*, on ne détruit rien, mais on continue de perfectionner le courant de la matiére magnétique, ſuivant la même direction *b d* en arrangeant auſſi les pores qui ont réſiſté à la première opération, & ainſi les canaux magnétiques, dans l'aiguille, deviendront toujours plus parfaits. Quelques traits du

du pole B feront fuffifans pour cela pourvu que l'aimant ne foit pas trop foible: & je ne doute pas que l'acier le mieux trempé, ou rendu auffi dur qu'il eft poffible, n'obéiffe à cette méthode; ce qui eft un grand avantage pour la conftruction des bouffoles, puifqu'on a remarqué que les aiguilles ordinaires perdent fouvent, par un léger accident, toute leur force magnétique; ce qui expoferoit les vaiffeaux aux plus grands dangers, fi l'on n'en avoit pas d'autres en referve. Mais quand on fait les aiguilles d'un acier bien trempé, ces accidens ne font point à craindre, & comme il faut plus de force pour les rendre magnétiques, elles confervent cette qualité avec plus de vigueur.

le 24 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXIV.

Au lieu de cette méthode d'aimanter le fer ou l'acier par la fimple touche, en le frottant d'un feul des poles d'un aimant, on fe fert aujourd'hui de *la double touche*, où l'on frotte avec les deux poles à la fois; ce qui fe fait aifément par un aimant armé.

Soit EF *Tab. IV. fig.* 4. une barre de fer ou d'acier, qu'on veut rendre magnétique, après l'avoir bien fixée fur une table, on y pofe les deux pieds A & B d'un aimant. Dans cet état,

V. A. verra aiſément que la matiére magnétique qui ſort de l'aimant par le pied B pénètrera dans la barre, & s'y répandroit en tous ſens, ſi le pied A n'attiroit de ſon côté la matiére magnétique contenue dans les pores de la barre. Cet épuiſement en *d* déterminera donc la matiére qui entrera par le pole B, à prendre ſon cours de *c* vers *d*, pourvu que les deux poles A & B ne ſoient pas trop éloignés l'un de l'autre. Alors le courant magnétique ſe frayera un chemin dans la barre pour paſſer du pole B dans celui A, en y diſpoſant les pores à former des canaux magnétiques; il eſt fort aiſé de s'aſſurer ſi cela arrive; on n'a qu'à voir ſi l'aimant eſt fortement attiré à la barre, ce qui ne manque jamais, ſi la barre eſt de fer doux, puiſque la matiére magnétique le pénètre aiſément. Mais ſi la barre eſt d'acier, l'attraction eſt ſouvent fort petite, ce qui eſt une marque que la matiére magnétique n'eſt pas capable de s'ouvrir le paſſage de *c* vers *d*, d'où l'on conclud que l'aimant eſt trop foible, ou que l'eſpace entre ſes deux poles eſt trop grand: il faudra donc employer dans ce cas un aimant plus fort, ou dont les pieds ſoient plus proches, ſoit enfin changer l'armature de l'aimant comme en *fig.* 3. *Tab. IV.*

Mais voici des moyens pour rémèdier à cet inconvénient.

Ayant diſpoſé *Tab. IV. fig.* 4. dans les petits intervalles *cd*, les pores convenablement au magnétiſme, il faut paſſer & repaſſer pluſieurs

fois l'aimant fur la barre d'un bout à l'autre, fans l'en ôter qu'on ne s'apperçoive que l'attraction n'augmente plus; car il eft fûr que l'attraction croît à mefure que la force magnétique augmente. La barre EF deviendra magnétique par cette opération, enforte que le bout E vers lequel le pole A étoit tourné, fera le pole ami de A, & par conféquent du même nom que l'autre pole B. Enfuite, en ôtant l'aimant, puifqu'il y a des canaux magnétiques formés par toute la longueur de la barre, la matiére magnétique répandue dans l'air traverfera ces canaux & fera de la barre un véritable aimant. Elle entrera par le bout *a* & fortira par celui *b*, d'où une partie, au moins, retournera en *a* & formera un tourbillon felon que la figure de la barre le permet.

Je remarque, à cette occafion, que la formation d'un tourbillon eft abfolument néceffaire pour augmenter le magnétifme; car fi toute la matiére magnétique qui fort par le bout *b* échappoit, & fe difperfoit entiérement, fans retourner en *a*, l'air n'en fourniroit pas affez à l'autre bout *a*, ce qui diminueroit la force magnétique. Mais fi une bonne partie de celle qui échappe par le bout *b*, retourne en *a*, l'air eft bien fuffifant pour fournir le refte, & peut-être encore davantage; fi les canaux magnétiques de la barre font capables de la recevoir; la barre acquerra donc alors une force magnétique beaucoup plus grande.

Cette confidération me conduit à expofer à

V. A. comment on peut conſerver la matiére magnétique dans les barres aimantées. Comme il s'agit d'empècher que la matiére magnétique qui les traverſe, ne ſe diſperſe dans l'air, on diſpoſe toujours ces barres par *paires*, qui ſont de même grandeur. On les met ſur une table, dans une ſituation parallele, enſorte que les poles amis ou de diférens noms ſoient tournés du même côté, comme *Tab. IV. fig.* 5.

MM & NN repréſentent les deux barres, dont les poles amis *ab*, *ba* ſont tournés du même côté. Pour ne pas ſe tromper, on fait d'abord ſur chaque barre une marque X, au bout où eſt le pole boréal, & on applique de chaque côté un morceau de fer doux EE & FF, pour recevoir le courant magnétique. De cette maniére, toute la matiére magnétique qui traverſe la barre MM & qui ſort par le bout *b*, paſſe dans le morceau de fer EE & s'y ouvre aiſément un chemin, pour paſſer dans le bout *a* de l'autre barre NN, d'où elle entrera par le bout *b* dans l'autre morceau de fer FF qui la reconduit dans la premiére barre MM par le bout *a*. C'eſt ainſi que la matiére magnétique continuera à circuler, ſans qu'il en échappe rien; & en cas même qu'il n'y en eut pas d'abord aſſez pour remplir le tourbillon, l'air fournira le reſte, & le tourbillon, par les deux barres, reſtera dans toute ſa force.

On peut auſſi employer cette diſpoſition des deux barres pour les aimanter l'une & l'autre à la fois. Il faut paſſer les deux poles d'un ai-

mant ſur les deux barres, en paſſant de l'une à l'autre par les morceaux de fer, & faire pluſieurs tours, en obſervant ſoigneuſement que les deux poles de l'aimant A & B ſoient tournés comme la figure l'indique.

Cette maniére d'aimanter deux barres à la fois, doit être plus efficace que la précédente, puiſque dès le premier tour qu'on aura fait avec l'aimant, la matiére magnétique commencera à couler par les deux barres, moyennant les deux morceaux de fer. Enſuite en continuant à le paſſer ſur les deux barres, on y rangera une plus grande quantité de pores conformément au magnétiſme, & on ouvrira pluſieurs canaux magnétiques, dont le tourbillon ſera fortifié de plus en plus, ſans ſouffrir aucun affoibliſſement. Si les barres ſont épaiſſes, il ſera bon de les tourner & de les frotter de la même maniére ſur les autres faces, afin que l'action magnétique le pénêtre tout-à-fait.

Après avoir acquis ces barres magnétiques MM, NN *Tab. IV. fig. 6.* on peut s'en ſervir au lieu d'aimant naturel, pour en aimanter d'autres. On les joint enſemble en haut, deſorte que les deux poles amis *a b* ſe touchent, & on éloigne en bas les deux autres poles *b* & *a*, autant qu'on le juge à propos. Enſuite on frotte par les deux bouts d'en bas, qui tiennent lieu des deux poles d'un aimant, deux autres barres EF de la maniére que j'ai expliqué ci-deſſus.

Comme ces deux barres ſont jointes en for-

me de compas, on a la commodité de les ouvrir auſſi peu qu'on veut, à quoi un aimant n'eſt pas propre; & le courant magnétique paſſera aiſément en haut, où les barres ſe touchent, de l'une dans l'autre; on pourroit encore y mettre un petit morceau de fer doux P, pour mieux entretenir ce courant; de cette maniére, on aimantera très-promtement autant de doubles barres qu'on voudra.

le 28 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXV.

QUOIQUE cette maniére d'aimanter à double touche ſoit très-préférable à la précédente, on ne ſauroit cependant porter la force magnétique au-delà d'un certain dégré. Soit qu'on ſe ſerve d'un aimant naturel, ou de deux barres magnétiques pour frotter d'autres barres, celles-ci n'acquerront jamais autant de force que celles-là; l'effet ne pouvant jamais être plus grand que la cauſe.

Si les barres avec leſquelles on frotte, ont peu de force, celles qui ſont frottées en auront encore moins; la raiſon en eſt évidente: car comme des barres deſtituées de force magnétique ne ſauroient en produire en d'autres, une force magnétique médiocre n'eſt pas capable d'en produire une plus grande, au moins par la méthode que je viens de décrire.

Mais on ne doit pas prendre cette règle à la rigueur; & croire qu'il ſoit impoſſible de produire une plus grande force magnétique, à l'aide d'une plus petite. J'aurai l'honneur d'expliquer à V. A. une méthode, par laquelle on peut augmenter la force magnétique prèſqu'auſſi loin qu'on veut en commençant par la plus petite. C'eſt une découverte moderne, qui mérite d'autant plus d'attention, qu'elle nous éclaircit incomparablement mieux la nature du magnétiſme.

Suppoſons qu'on n'ait qu'un aimant très-foible, ou, au défaut d'aimant naturel, des barres de fer rendues un peu magnétiques par le ſeul tourbillon de la terre, comme je l'ai expoſé à V. A. dans mes lettres précédentes; il faut ſe procurer huit barres d'acier fort petites & point trempées, pour recevoir plus aiſément la petite force magnétique que le foible aimant, ou ces barres un peu magnétiques, ſont capables de leur communiquer, en frottant chaque paire ou couple, de la maniére que j'ai expoſée précédemment. Ayant donc quatre paires de barres tant ſoit peu magnétiques, on prend deux paires qu'on joint enſemble comme on voit en *fig. 7. Tab. IV.*

En réuniſſant les deux barres par les poles de même nom, on n'en fait qu'une épaiſſe du double, dont on forme le compas AC & BD qui ſe touchent en haut CD, où pour entretenir mieux le courant magnétique, on peut mettre un morceau de fer doux P. On en ou-

vre les jambes, autant qu'on le juge à propos, & l'on en frotte, l'une après l'autre, les autres qui, par ce moyen, acquerront plus de force qu'auparavant, puisque la force des deux paires s'y réunit. On n'a puis qu'à joindre ces deux paires nouvellement frottées, de la même maniére, & en frotter l'une après l'autre les deux paires dont on s'étoit servi la premiére fois, & la force de celles-ci sera considérablement augmentée. On joindra ensuite ces deux paires ensemble, & on frottera encore les autres pour y augmenter la force magnétique, & on continuera de frotter alternativement deux paires par les deux autres: on les portera par cette opération à un tel dégré de force, qu'il ne sera plus susceptible d'augmentation ultérieure, même en la continuant plus longtems. Quand on a plus de quatre paires de ces barres, au lieu de deux paires, on peut en joindre trois ensemble, & frotter ensuite les autres; on les portera plus vîte, par ce moyen, au plus haut dégré.

Les plus grands obstacles sont donc surmontés, &, par le moyen de ces barres jointes par deux ou plusieurs paires ensemble, on en frottera d'autres d'acier bien trempé, & qui sont, ou de même grandeur, ou plus grandes encore que les premiéres, auxquelles on communiquera ainsi la plus grande force dont elles soient susceptibles.

En commençant par les barres que je viens de décrire, on peut pousser ces opéra-

tions jusqu'à des barres d'une grandeur énorme, & faites de bon acier trempé, moins sujet à perdre la force magnétique. Il faut seulement observer que, pour frotter de grandes barres, il faut en joindre plusieurs paires ensemble, dont le poids soit au moins le double de celui d'une grande barre. Mais il vaudra toujours mieux aller par dégré, & frotter chaque espèce de barres par d'autres qui ne soient pas beaucoup plus petites, ou il suffiroit d'en joindre deux paires: car quand on est obligé d'en joindre plusieurs paires, les bouts par lesquels on frotte ont trop d'étendue, & la matiére magnétique, qui passe par-là, s'empèchera elle-même de se diriger suivant la barre frottée; & d'autant plus, qu'elle entre dans la barre perpendiculairement, & qu'il faut qu'elle y prenne une direction horizontale.

Pour faciliter ce changement de direction, il est bon que la matiére magnétique y soit conduite par un petit espace, & qu'elle ait déja une direction approchante de celle qu'elle doit prendre au-dedans de la barre touchée; je crois qu'on réussiroit, à cet égard, de la maniére suivante.

La *fig.* 8. *Tab. IV.* représente cinq paires MM, NN jointes ensemble, mais pas en forme de compas. Il y a en haut une barre de fer doux CD pour entretenir le tourbillon; je ne frotte point en bas immédiatement par les bouts des barres, mais j'enchasse ces bouts de chaque côté dans un pied de fer doux, en les affermis-

ſant par quelques vis O. Chaque pied eſt courbe en AB, enſorte que la direction de la matiére magnétique, qui traverſe librement ces pieds, s'approche déja beaucoup de l'horizontale, & que dans la barre frottée EF elle n'a pas beſoin de changer beaucoup de direction. Je ne doute nullement que, par le moyen de ces pieds, la barre EF ne reçoive une beaucoup plus grande force magnétique, que ſi on la frottoit immédiatement par les bouts des barres, dont la groſſeur & la direction verticale s'oppoſent naturellement à la formation des canaux magnétiques dans la barre EF: auſſi peut-on, en ſuivant cette méthode, approcher ou éloigner les extrémités des pieds A & B à volonté.

Je dois encore faire obſerver que, lorſque ces barres perdent avec le tems de leur force magnétique, on les rétablit aiſément par les mêmes opérations.

le 1 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXVI.

QUAND on veut faire des expériences ſur le magnétiſme, il faut être pourvu d'un grand nombre de barres magnétiques, depuis les plus petites juſques aux plus grandes: chacune peut être regardée comme un aimant particulier, ayant ſes deux poles, l'un boréal & l'autre méridional.

V. A. a dû trouver très-remarquable que, moyennant la force magnétique la plus foible que nous fournisse un misérable aimant naturel, ou quelques pincettes de cheminée, qui ont acquis avec le tems un peu de magnétisme, on soit en état d'augmenter cette force jusqu'à rendre les plus grandes barres d'acier douées du plus haut dégré de force magnétique, dont elles soient susceptibles. Il seroit superflu d'ajouter que, par cette méthode, on peut faire les meilleures aiguilles aimantées, non-seulement beaucoup plus grandes que les ordinaires, mais faites d'un acier trempé au plus fort, ce qui les rend plus durables. Je dirai encore quelque chose sur la fabrique des aimants artificiels, qui ont pour la plûpart la figure d'un fer à cheval, comme V. A. en aura vu sûrement.

Ces aimants artificiels rendent, dans toutes les occasions, les mêmes services que les naturels, & nous procurent encore l'avantage d'en avoir de plus forts, en leur donnant une grandeur suffisante. On les fait d'acier bien trempé, & la figure de fer à cheval semble la plus propre à maintenir le tourbillon. Après que l'ouvrier a fait cette piéce, on lui communique la plus grande force magnétique dont elle soit susceptible, par le moyen des barres magnétiques dont j'ai expliqué la construction. On comprend aisément, que plus cet aimant est grand, plus on doit y employer de grandes barres, & c'est pourquoi on doit être pourvu de toutes sortes.

Pour aimanter un fer à cheval HIG, *Tab. IV. fig.* 9. qui doit être d'acier bien trempé, on pose sur la table une paire de barres magnétiques AC & BD avec leurs supports de fer doux appliqués de deux côtés, dont la figure ne représente que l'un FF, l'autre ayant été ôté à mesure qu'on appliquoit les pieds du fer à cheval, comme on le voit dans la figure. Dans cet état, la matiére magnétique qui traverse les barres fera des efforts pour passer par le fer à cheval, mais vu la dureté de l'acier trempé, elle ne sera pas suffisante pour ranger les pores, & s'ouvrir un chemin. Il faut donc employer le même moyen dont on se sert pour aimanter les barres. On prend un compas formé d'une autre paire de barres magnétiques, & on le fait passer de la même maniére sur le fer à cheval, en tournant les jambes du compas convenablement aux poles du fer à cheval; de cette maniére on y ouvrira les canaux magnétiques, & la matiére subtile des barres, en le traversant, formera le tourbillon magnétique. Il faut bien prendre garde, dans cette opération, que les jambes du compas, en passant sur le fer à cheval, ne touchent les bouts A & B des barres; ce qui troubleroit le courant de la matiére magnétique, qui passeroit immédiatement des barres dans les jambes du compas, ou, les tourbillons des barres & du compas se dérangeroient mutuellement.

Le fer à cheval acquerra par-là une grande force magnétique, étant traversé par un cou-

rant magnétique très-copieux; il ne s'agit plus que de le détacher des barres, ſans que le courant ſoit dérangé. Si on l'arrachoit bruſquement, le tourbillon magnétique ſeroit détruit, & l'aimant artificiel en retiendroit très-peu de force.

Les canaux magnétiques ne ſe conſervant qu'autant que la matiére magnétique les traverſe, il faut en conclurre que les particules qui forment par les pores ces canaux, ſe trouvent dans un état forcé, qui ne ſe maintient que tant que la force du tourbillon y agit, & que dès qu'elle ceſſe, ces particules, par leur élaſticité, ſe détourneront de leur ſituation, & les canaux magnétiques ſeront ſubitement interrompus & détruits. C'eſt ce que nous voyons très-clairement dans le fer doux, dont les pores ſe rangent promtement à l'approche d'un tourbillon magnétique, mais ne conſervent preſque plus de force magnétique, dès qu'on l'éloigne; ce qui prouve que les pores du fer ſont mobiles, mais doués d'un reſſort qui change leur ſituation, dès que la force ceſſe. Ce n'eſt qu'après bien du tems, que quelques pores ſe fixent dans la poſition qui leur a été imprimée par la force magnétique, ce qui arrive ſur-tout dans les barres de fer expoſées long-tems au tourbillon de la terre. L'acier a ſes pores bien moins flèxibles, & qui ſe maintiennent mieux dans l'état auquel ils ont été forcés, ils ſont pourtant ſujets à quelque dérangement, dès que la force ceſſe d'y agir, mais d'autant moins, que

l'acier eſt plus dur. C'eſt pourquoi les aimants artificiels doivent être faits d'acier très-bien trempé ; ſi on les faiſoit de fer, ils acquerroient bien d'abord, étant appliqués aux barres magnétiques, une très-grande force, mais, au moment qu'on les en détacheroit, toute la force s'évanouïroit. C'eſt pourquoi il faut prendre des précautions en détachant des barres les aimans faits d'un acier bien trempé. Pour cet effet, avant que de les en ſéparer, on poſe leur ſupport, *Tab. IV. fig.* 10. fait d'un fer bien mol, ſelon la ligne MN dans la figure, en prenant garde que le ſupport ne touche point les barres, ce qui gâteroit tout & obligeroit à recommencer les opérations. Alors, une bonne partie de la matiére magnétique qui circule dans l'aimant GGI, prendra ſa route par le ſupport, & formera un tourbillon à part, qui ſe conſervera après la ſéparation.

Enſuite on pouſſe lentement le ſupport ſur les jambes de l'aimant juſqu'aux bouts, comme on voit par la figure, & dans cet état on le laiſſe repoſer pendant quelque tems, afin que le tourbillon s'affermiſſe. On charge auſſi le ſupport d'un poids P, qu'on peut augmenter tous les jours, bien entendu, que le ſupport doit être ajuſté de maniére qu'il touche parfaitement les pieds de l'aimant.

le 5 Décembre 1761.

LETTRE CLXXXVII.

JE crois, à préſent, que les merveilles de la dioptrique ſeront un ſujet digne de l'attention de V. A. la dioptrique nous fournit deux ſortes d'inſtrumens compoſés de verres, qui ſervent à augmenter notre vue, pour découvrir des objets qui échapperoient à la vue ſimple.

Il y a deux cas où notre vue a beſoin de ſecours: le premier, lorſque les objets ſont trop éloignés de nous, pour que nous puiſſions les voir diſtinctement; tels ſont les corps céleſtes, ſur leſquels on a fait les plus importantes découvertes, par le moyen des inſtrumens de dioptrique. V. A. ſe ſouviendra bien, de ce que j'ai eu l'honneur de lui dire ſur les ſatellites de Jupiter, qui nous conduiſent à la découverte de la longitude: ils ne ſont viſibles que par le ſecours de bonnes lunettes, & les ſatellites de Saturne en demandent de plus excellentes encore.

Il y a de plus ſur la ſurface de la terre, les objets fort éloignés, qu'on ne ſauroit voir & examiner éxactement que par le ſecours de lunettes qui nous les repréſentent de la même maniére que ſi nous les voyons de près. Ces lunettes ou inſtrumens de dioptrique, pour les objets fort éloignés, ſont auſſi nommés *téleſcopes* & lunettes d'obſervation.

L'autre cas où notre vue a beſoin de ſecours,

eſt lorſque les objets, quoiqu'aſſez proches, ſont trop petits pour que nous puiſſions en diſtinguer les parties. Si l'on veut, par éxemple, découvrir toutes les parties d'une jambe de mouche ou de quelqu'inſecte plus petit: s'il s'agit d'éxaminer les particules de notre propre corps, comme les fibres les plus petites de nos muſcles, de nos nerfs, on ne ſauroit y réuſſir ſans le ſecours de certains inſtrumens, qu'on nomme *microſcopes*, qui nous repréſentent les petits objets de la même maniére, que s'ils étoient cent & même mille fois plus grands.

Voilà donc deux ſortes d'inſtrumens, les téleſcopes & les microſcopes, par leſquels la dioptrique ſupplée à la foibleſſe de notre vue. Il n'y a que quelques ſiécles que ces inſtrumens ont été inventés, & ce n'eſt que dès-lors qu'on a fait les plus importantes découvertes dans l'aſtronomie, à l'aide des téleſcopes & des lunettes, & dans la phyſique à l'aide des microſcopes.

Ces effets merveilleux ne ſont produits que par la figure qu'on donne à des morceaux de verre, & l'heureuſe combinaiſon de deux ou pluſieurs verres qu'on nomme *lentilles*. La dioptrique eſt la ſcience qui en renferme les principes, & V. A. voudra bien ſe ſouvenir qu'elle roule principalement ſur la route que tiennent les rayons de la lumiére, lorſqu'ils traverſent des intermédiaires tranſparens de diférente qualité, lorſqu'ils paſſent, par éxemple, de l'air dans

dans le verre ou dans l'eau, & réciproquement du verre ou de l'eau dans l'air.

Tant que les rayons ſont propagés dans le même milieu, comme dans l'air, ils continuent leur chemin *Tab. IV. fig.* 11. ſelon des lignes droites LA, LB, LC, LD, tirées du point L, d'où partent ces rayons, & lorſqu'ils rencontrent quelque part, comme en C, un œil, ils y entrent & y dépeignent l'image de l'objet d'où ils ſont partis. Dans ce cas la viſion eſt nommée ſimple, ou naturelle, & nous repréſente les objets tels qu'ils ſont en effet. La ſcience qui nous explique les principes de cette viſion, eſt nommée *l'optique*.

Mais lorſque les rayons, avant que d'entrer dans l'œil, ſont réfléchis ſur une ſurface bien polie, telle qu'un miroir, la viſion n'eſt plus naturelle; puiſqu'ici, nous voyons les objets autrement & dans un autre lieu qu'ils ne ſont effectivement. La ſcience qui explique les fondemens de cette viſion par des rayons réfléchis, eſt nommée *catoptrique*. Elle nous fournit auſſi des inſtrumens propres à augmenter la portée de notre vue, & V. A. connoît ces ſortes d'inſtrumens qui, par le moyen d'un ou deux miroirs, nous rendent le même ſervice que les lunettes compoſées de verres. Ce ſont ceux qu'on nomme *téleſcopes*: mais pour les diſtinguer des lunettes ordinaires qui ne ſont compoſées que de verres, il vaudroit mieux les appeller téleſcopes catoptriques réfléchiſſans, ou de réflexion. Ce ſeroit au-moins parler plus exactement; car

le nom de téleſcopes a été en uſage avant la découverte des inſtrumens à miroirs, & ſignifioit alors la même choſe que lunette.

Je me propoſe d'entretenir à préſent V. A. uniquement des inſtrumens dioptriques, dont nous avons deux eſpèces, les téleſcopes ou lunettes, & les microſcopes. On ſe ſert pour les uns & les autres, de verres formés de diférentes maniéres, dont je vais expliquer les diverſes eſpèces, parmi leſquelles il y en a d'abord trois principales, ſelon la figure qu'on donne à la ſurface du verre.

La premiére eſt la *plane*, lorſque la ſurface d'un verre eſt plane, comme celle d'un miroir ordinaire. Si l'on prend, par éxemple, un morceau de miroir, & qu'on ôte le vif-argent attaché à la ſurface de derriére, on aura un verre dont les deux ſurfaces feront *planes* & qui aura par-tout la même épaiſſeur.

La ſeconde eſt la *convèxe;* le verre eſt alors plus élevé dans le milieu que vers les bords.

La troiſiéme eſt la *concave:* le verre eſt alors plus enfoncé dans le milieu que vers les bords.

De ces trois diférentes figures qu'on peut donner à la ſurface d'un verre, naiſſent les ſix eſpèces de verres de *fig.* 12. *Tab. IV.*

I. Le verre *plano-plane* eſt celui dont les deux ſurfaces ſont planes.

II. Le verre *plano-convèxe* a une ſurface plane & l'autre convèxe.

III. Le verre *plano-concave* a une ſurface plane & l'autre concave.

IV. Le verre *convèxo-convèxe* eſt celui dont les deux ſurfaces ſont convèxes.

V. Le verre *convèxo-concave* ou *méniſque* a une ſurface convèxe & l'autre concave.

VI. Le verre *concavo-concave* enfin, a les deux ſurfaces concaves.

Il eſt à propos de remarquer que la figure repréſente les coupes de ces verres ou lentilles.

le 8 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXVIII.

APRÈS ce que je viens de dire ſur les faces convèxes & concaves des lentilles, V. A. comprend aiſément, qu'il peut y en avoir d'une infinité de façons, puiſque tant la convèxité que la concavité peuvent être plus ou moins grandes. Il n'y a qu'une ſeule eſpèce de ſurfaces planes parce qu'une ſurface ne peut être plane que d'une ſeule maniére : mais une ſurface convèxe peut être regardée comme faiſant partie d'une ſphère, &, ſelon que le rayon ſoit diamètre de cette ſphère eſt plus ou moins grand, la convèxité ſera diférente. Ou, comme nous repréſentons les verres ſur le papier par des arcs de cercle, ſelon que ces cercles ſont plus ou moins grands, il en réſulte une infinité de verres, tant par rapport à la convèxité qu'à l'égard de la concavité de leurs ſurfaces.

Pour ce qui eſt de la maniére dont on forme & polit les verres, on ſe donne tous les ſoins poſſibles pour rendre leur figure éxactement circulaire ou ſphérique: on ſe ſert pour cela de baſſins de métal formés au tour, ſur une ſurface ſphérique en dedans & en dehors.

Soit AEBDFC *Tab. IV. fig.* 13. la coupe d'un ſemblable baſſin, qui aura deux faces AEB & CFD, dont chacune peut avoir ſon rayon à part; quand on frotte un morceau de verre ſur la partie concave AEB de ce baſſin, il deviendra convêxe; mais ſi on le frotte ſur la partie convêxe CFD, il deviendra concave. On ſe ſert en premier lieu de ſable pour frotter le verre contre le baſſin, juſqu'à ce qu'il en ait pris la figure, & enſuite on ſe ſert d'une terre fine pour le dernier poli.

Pour connoître la véritable figure des faces d'une lentille, on n'a qu'à meſurer le rayon de la face du baſſin, ſur laquelle cette lentille a été formée, car la véritable meſure de la convêxité & de la concavité des ſurfaces, c'eſt le rayon du cercle ou de la ſphère qui leur convient, & dont elles ſont partie.

Ainſi quand je dis *Tab. V. fig.* 1. que le rayon de la face convêxe AEB eſt de trois pouces, il faut entendre que AEB eſt un arc de cercle décrit avec un rayon de 3 pouces, l'autre face AB étant plane.

Pour mettre encore mieux devant les yeux de V. A. la diférence entre les convêxités, lorſque leurs rayons ſont plus ou moins grands,

je mettrai plusieurs figures de diférente convêxité *Tab. V. fig.* 1.

On voit par-là que, plus le rayon est petit plus la surface est courbée, ou diférente de la plane; plus au contraire le rayon est grand, plus la surface approche de la plane, ou l'arc de cercle d'une ligne droite. Si je faisois le rayon encore plus grand, on n'y appercevroit enfin presque plus de courbure. A peine la remarque-t-on dans l'arc MN *Tab. V. fig.* 2. dont le rayon est de 6 pouces ou d'un demi-pied, & si le rayon étoit encore dix ou cent fois plus grand, la courbure deviendroit tout-à-fait insensible à la vue.

Il n'en est cependant pas ainsi à l'égard de la dioptrique, & j'aurai l'honneur de faire remarquer à V. A. dans la suite, que quand le rayon seroit de cent ou de mille pieds, & que nous ne pourrions pas en remarquer la courbure, son effet ne laisseroit pas d'être encore très-sensible. Il faudroit effectivement que le rayon fut infiniment grand, pour que la face devint parfaitement plane: d'où V. A. peut conclurre qu'une face plane peut être regardée comme une face convêxe dont le rayon est infiniment grand, ou comme une face concave d'un rayon infiniment grand. C'est dans ce cas que la convêxité & la concavité se confondent ensemble, desorte que la face plane est le milieu qui sépare la convêxité de la concavité.

Mais plus les rayons sont petits, plus les

convèxités & les concavités deviennent sensibles ou grandes, & de-là on dit réciproquement, qu'une convèxité ou concavité est d'autant plus grande, que son rayon, qui en est la mesure, est petit.

Quelque grande que soit d'ailleurs la variété qui peut se rencontrer dans les lentilles ou verres, selon que leurs deux surfaces sont planes, convèxes, ou concaves, & ceci encore d'une infinité de maniéres diférentes; par rapport à l'effet qui en résulte dans la dioptrique, on peut néanmoins les ranger en trois classes principales, que voici.

La premiére comprend les verres qui sont par-tout également épais; soit que leurs deux faces soient planes & paralleles entr'elles, *Tab. V. fig.* 3. soit que l'une soit convèxe & l'autre concave, mais concentriques ou décrites du même centre, *Tab. V. fig.* 4. desorte que l'épaisseur reste par-tout la même. Il est à remarquer sur ces verres, qu'ils ne changent rien dans l'apparition des objets que nous voyons par leur moyen. C'est comme s'il n'y avoit rien entre nos yeux & les objets; aussi, ne sont-ils d'aucun usage dans la dioptrique. Ce n'est pas que les rayons qui entrent dans ces verres ne souffrent aucune réfraction, mais parceque la réfraction à l'entrée est parfaitement redressée à la sortie, desorte que les rayons, après avoir traversé le verre, reprennent la même route qu'ils avoient tenue avant que d'y entrer. Ce sont donc les verres des deux autres classes qui, à cause de

leur effet, font l'objet principal de la dioptrique.

La ſeconde claſſe de verres renferme ceux qui ſont plus épais vers le milieu que vers les bords *Tab. V. fig.* 5.

L'effet en eſt le même, tant que l'excès de l'épaiſſeur du milieu ſur celle des bords tient le même rapport à la grandeur du verre. On nomme pour l'ordinaire tous les verres de cette claſſe *convèxes*, puiſque la convèxité y domine, quoique d'ailleurs une de leurs faces peut être plane & même concave.

La troiſiéme claſſe contient les verres qui ſont plus épais par les bords que vers le milieu. *Tab. V. fig.* 6. qui tous produiſent un ſemblable effet, dépendant de l'excès d'épaiſſeur vers les bords ſur celle du milieu. Comme la concavité prévaut dans tous ces verres de la troiſiéme claſſe, on les nomme ſimplement *concaves*. Il faut bien les diſtinguer de ceux de la ſeconde claſſe qui ſont les convèxes.

C'eſt des verres de ces deux derniéres claſſes que je me propoſe d'entretenir V. A. dans mes lettres ſuivantes, en y expoſant leurs effets dans la dioptrique.

le 12 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXIX.

Pour expliquer à V. A. l'effet que produisent les verres convèxes & concaves dans l'apparition des objets, il faut distinguer deux cas, l'un où l'objet est très-éloigné du verre, & l'autre où il se trouve plus rapproché.

Mais avant que d'entreprendre cette explication, je dois dire un mot sur ce qu'on nomme l'axe d'un verre. Comme les deux surfaces sont représentées par des arcs de cercle, on n'a qu'à tirer une ligne droite par les centres de ces deux cercles; cette ligne est nommée l'axe du verre. Dans la *fig.* 7. *Tab. V.* du verre AB, le centre de l'arc AEB étant en C & celui de l'arc AFB en D, la ligne droite CD est nommée l'axe de ce verre, & il est aisé de voir que cet axe passe par le milieu. Il en est de même si les faces des verres sont concaves. Or si l'une est plane, l'axe y sera perpendiculaire, en passant par le centre de l'autre face.

On peut voir par-là que l'axe traverse perpendiculairement les deux faces, & qu'ainsi un rayon de lumiére qui vient dans la direction de l'axe, n'y souffre aucune réfraction, puisque les rayons qui passent d'un milieu dans un autre, ne sont rompus ou réfractés, qu'entant qu'ils n'y entrent pas perpendiculairement.

On peut auſſi prouver que tous les autres rayons qui paſſent par le milieu O du verre, ne ſouffrent aucune réfraction, ou plutôt qu'ils redeviennent paralleles à eux-mêmes.

Il faut conſidérer pour en comprendre la raiſon, que les deux faces du verre ſont paralleles entr'elles aux points E & F, car l'angle MEB que fait le rayon ME avec l'arc de cercle EB, ou ſa tangente en E, eſt parfaitement égal à l'angle PFA, que ce même rayon prolongé FP fait avec l'arc de cercle AF ou ſa tangente en F: V. A. ſe ſouvient que ces deux angles ſont nommés alternes, & qu'il eſt démontré que, lorſque les angles alternes ſont égaux, les lignes droites ſont paralleles entr'elles: par conſéquent les deux tangentes en E & en F ſeront paralleles, & il en ſera de même que ſi le rayon MEFP paſſoit par un verre, dont les deux faces fuſſent paralleles entr'elles. Or nous avons vû cideſſus, que les rayons ne changent point de route en paſſant par un tel verre.

Après ces remarques, conſidérons un verre convèxe AB, *Tab. V. fig.* 8. dont l'axe ſoit la ligne droite OEFP, & ſuppoſons qu'il ſe trouve ſur ſon axe à une grande diſtance du verre un objet ou point lumineux O, qui répand des rayons en tous ſens: il y en aura qui paſſeront par notre verre AB, tels que OM, OE & ON, dont celui du milieu OE ne ſouffrira aucune réfraction; mais continuera ſa route à travers du verre, ſuivant la di-

rection F J P. Les deux autres rayons O M & O N en passant vers les bords du verre, y seront rompus, tant en entrant qu'en sortant, de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, & continueront ensuite leur route dans les directions J Q & J R: on peut aussi prouver que tous les autres rayons qui tombent entre M & N seront rompus, ensorte qu'i's se réunissent avec l'axe au même point J. Donc les rayons qui sans l'interposition du verre, auroient continué leurs routes rectilignes O M & O N, suivront après la réfraction d'autres routes, comme s'ils etoient partis du point J; & s'il y avoit un œil quelque part en P, il en seroit affecté comme si le point lumineux étoit actuellement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. V. A. n'a qu'à supposer, pour un moment, qu'il y ait en J un objet réel, qui répandant ses rayons, seroit également vû d'un œil placé en P, comme il voit à présent l'objet en O par les rayons rompus par le verre; parcequ'il y a en J une image de l'objet O, & que le verre A B y représente l'objet O, ou le transporte prèsqu'en J; ce n'est donc plus le point O qui est l'objet de la vue, mais plutôt son image représentée en J.

Ce verre produit donc un changement bien considérable : un objet fort éloigné O est transporté subitement en J, d'où l'œil doit sansdoute recevoir une impression toute autre que si, ôtant le verre, l'œil voïoit immédiatement l'ob-

jet O. Que V. A. considère une étoile en O, puisque nous supposons que le point O est extrèmement éloigné, le verre nous représentera en J l'image de cette étoile, mais cette image qu'on ne sauroit toucher & qui n'a aucune réalité, puisqu'il n'éxiste rien en J, si ce n'est, que les rayons partis du point O y sont rassemblés par la réfraction du verre. Il ne faut pas s'imaginer non plus, que l'étoile nous paroîtroit de la même maniére que si elle éxistoit réellement en J. Comment un corps plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, pourroit-il éxister en J? Nos sens en seroient frappés bien diféremment: il faut donc remarquer que ce n'est qu'une image représentée en J, comme celle d'une étoile représentée dans le fonds de l'œil, ou celle que nous voyons dans un miroir, dont l'effet n'a rien de surprenant.

le 15 *Décembre* 1761.

LETTRE CXC.

Je destine cette lettre à exposer à V. A. quel effet produisent les verres convèxes, soit ceux qui sont plus épais par le milieu que vers les bords. Tout consiste à déterminer le changement que les rayons souffrent dans leur route, lorsqu'ils passent par un tel verre. Pour

mettre cette recherche dans tout son jour, il faut bien distinguer deux cas, l'un où l'objet est fort éloigné du verre, & l'autre où il en est assez près. Je considérerai donc d'abord le premier cas, où l'objet est extrêmement éloigné du verre.

Dans la *fig.* 9. *Tab. V.*, MN est le verre convèxe, & la ligne droite OABJS son axe, qui passe perpendiculairement par le milieu; remarquons en passant, que cette propriété de l'axe de chaque verre de passer perpendiculairement par son milieu, nous en donne l'idée la plus juste qu'on puisse s'en former. Concevons maintenant que sur cet axe se trouve quelque part en O, un objet OP que je représente ici comme une ligne droite, quelque figure qu'il puisse avoir; & comme chaque point de cet objet lance ses rayons en tout sens, il ne s'agit ici que de ceux qui tombent sur le verre.

Je bornerai donc mes réflèxions sur ceux qui proviennent du point O, situé dans l'axe même du verre. La figure nous représente trois de ces rayons, OA, OM & ON, dont le premier OA passant par le milieu du verre, ne souffre aucun changement dans sa route qu'il continue, après avoir traversé le verre selon la premiére direction BJS, c'est-à-dire, dans l'axe du verre; mais les deux autres rayons OM & ON souffrent une réfraction, tant en entrant qu'en sortant du verre, par laquelle ils sont détournés de leur premiére

route; de façon qu'ils ſe réuniront quelque part en J avec l'axe, d'où ils continueront leurs nouvelles routes dans les lignes droites MJQ & NJR; deſorte que dans la ſuite lorſqu'ils rencontreront un œil, ils y produiront le même effet que ſi le point O éxiſtoit en J, puiſqu'ils tiennent la même route. C'eſt pourquoi l'on dit que le verre convèxe tranſporte l'objet de O en J, mais pour diſtinguer ce point J du vrai point O, on nomme celui-là l'image de celui-ci, qui à ſon tour eſt nommé l'objet.

Ce point J eſt très-remarquable, & lorſque l'objet O eſt extrèmement éloigné, l'image en eſt auſſi nommée le foyer du verre; j'en expliquerai la raiſon à V. A. Si c'eſt le ſoleil qui tient lieu d'objet en O, les rayons qui tombent ſur le verre ſont tous réunis dans le lieu J, & comme ils ſont extrèmement forts & doués de la qualité d'échauffer, il eſt naturel que la réunion de tant de rayons en J, produiſe un dégré de chaleur capable de brûler les choſes combuſtibles qu'on y met. Or le lieu où tant de chaleur eſt réunie ſe nomme *foyer;* la raiſon de cette dénomination à l'égard des verres convèxes eſt évidente. C'eſt pourquoi un verre convèxe eſt auſſi nommé *verre ardent*, dont les effets ſont ſûrement bien connus à V. A. Je remarque ſeulement que cette propriété de réunir les rayons du ſoleil, dans un certain point qu'on nomme leur foyer, convient à tous les verres

convèxes; ils réunissent aussi les rayons de la lune, des étoiles & de tous les corps fort éloignés; & quoique leur force soit trop petite pour produire quelque chaleur, on se sert pourtant du même nom de foyer: ainsi le foyer d'un verre n'est autre chose que le lieu où l'image des objets fort éloignés est représentée: à quoi il faut encore ajouter cette condition, que l'objet soit situé dans l'axe même du verre; car s'il étoit hors de l'axe, son image seroit aussi réprésentée hors de l'axe, j'aurai occasion d'en parler dans la suite.

Au reste, il est bon d'ajouter encore les remarques suivantes sur le foyer.

1. Comme le point O, ou l'objet, est infiniment éloigné, les rayons OM, OA & ON peuvent être considérés comme paralleles entr'eux, & par la même raison paralleles a l'axe du verre.

2. Le foyer J est donc le point derriére le verre, où les rayons paralleles à l'axe, qui tombent sur le verre, sont réunis par la réfraction du verre.

3. Le foyer d'un verre, & le lieu où l'image d'un objet infiniment éloigné & situé dans l'axe du verre est représentée, sont la même chose.

4. L'éloignement du point J derriére le verre, soit la distance BJ, est nommé la distance du foyer du verre. Quelques auteurs la nomment aussi la distance focale.

5. Chaque verre convèxe a sa distance de

foyer particuliére, l'un plus grande & l'autre plus petite, ce qu'on trouve aisément en exposant le verre au soleil, & observant où les rayons se réunissent.

6. Les verres qui sont formés par des arcs de petits cercles, ont leur foyer fort près derriére eux; mais ceux dont les faces sont des arcs de grands cercles, ont leurs foyers plus éloignés.

7. Il est important de savoir la distance du foyer de chaque verre convèxe dont on se sert dans la dioptrique, & il suffit d'en connoître le foyer, pour juger de tous les effets qu'on en doit attendre, tant dans les lunettes ou télescopes que dans les microscopes.

8. Si l'on se sert de verres également convèxes des deux côtés, desorte que chaque face réponde au même cercle, alors le rayon de ce cercle donne à-peu-près la distance du foyer de ce verre, ainsi pour faire un verre ardent, qui brûle à la distance d'un pied, on n'a qu'à former ses deux faces suivant un cercle dont le rayon est d'un pied.

9. Mais lorsque le verre est plano-convèxe, sa distance de foyer est à-peu-près égale au diamètre du cercle qui convient à la face convèxe.

L'intelligence de ces termes rendra ce que nous avons encore à dire, facile à entendre.

le 19 *Décembre* 1751.

LETTRE CXCI.

AYANT remarqué qu'un objet éloigné à l'infini est représenté par un verre convèxe dans son foyer même, pourvu que cet objet se trouve dans l'axe du verre, je passe aux objets plus proches, mais toujours situés dans l'axe du verre, & j'observe d'abord, que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne.

Ainsi supposons *Tab. V. fig.* 10. que F soit le foyer du verre MM, desorte que d'un objet éloigné à l'infini devant le verre ou au haut de la figure, l'image soit représentée en F, en approchant l'objet du verre & le plaçant successivement en P, Q, R, l'image sera représentée au point *p*, *q*, *r*, plus éloignés du verre que le foyer, ou bien, si AP est la distance de l'objet, B*p* sera la distance de l'image; & si AQ est la distance de l'objet, B*q* sera celle de l'image, & la distance B*r* de l'image répondra à la distance de l'objet AB.

On a une règle par laquelle on peut aisément calculer la distance de l'image derriére le verre, pour chaque distance de l'objet qui est devant le verre; mais je ne veux pas ennuyer V. A. par une exposition séche de cette règle; il suffira de remarquer en général, que plus on diminue la distance de l'objet devant le verre, plus la distance de l'image derriére le verre devient grande. J'ajouterai outre cela

la l'éxemple d'un verre convèxe, dont la diſtance du foyer eſt de 6 pouces, ou d'un verre tel, que ſi la diſtance de l'objet eſt infiniment grande, la diſtance de l'image derriére le verre, ſoit préciſément de 6 pouces; maintenant, ſi l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloignera ſuivant cette table

Diſtance de l'objet	Diſtance de l'image
infini	6
42	7
24	8
18	9
15	10
12	12
10	15
9	18
8	24
7	42
6	infini

ainſi l'objet étant éloigné de 42 pouces du verre, l'image tombera à la diſtance de 7 pouces, & ainſi d'un pouce plus loin que le foyer. Or ſi l'objet ſe trouve à la diſtance de 24 pouces, l'image ſe trouvera à celle de 8 pouces, & par conſéquent de deux pouces audelà du foyer & ainſi de ſuite.

Quoique ces nombres ne conviennent qu'à

un verre dont la diſtance du foyer eſt de 6 pouces, on en peut pourtant tirer quelques conſéquences générales.

1. Si la diſtance de l'objet eſt infiniment grande, l'image tombe dans le foyer même.

2. Si la diſtance de l'objet eſt deux fois plus grande que la diſtance du foyer, la diſtance de l'image ſera auſſi deux fois plus grande que celle du foyer, ou bien l'objet & l'image ſeront également éloignés du verre. Dans l'éxemple rapporté ci-deſſus, la diſtance de l'objet étant de 12 pouces, celle de l'image eſt auſſi de 12 pouces.

3. Lorſqu'on approche l'objet du verre, de façon que la diſtance ſoit précifément égale à celle du foyer, (comme de 6 pouces dans l'éxemple ci-deſſus) alors l'image s'éloigne à l'infini derriére le verre.

4. Auſſi voit-on en général, que la diſtance de l'objet & celle de l'image ſe répondent réciproquement, ou ſi l'on met l'objet à la place de l'image, elle tombera dans le lieu de l'objet.

5. Si donc le verre MM *Tab. V. fig.* 11. raſſemble en J les rayons qui émanent du point O, ce même verre y raſſemblera auſſi les rayons qui émanent du point J.

6. C'eſt la ſuite d'un grand principe de la dioptrique, en vertu duquel on ſoutient que, quelles que ſoient les réfractions que les rayons ont ſouffert en paſſant par pluſieurs milieux réfringens, ils pourroient toujours retourner ſur la même route.

Cette vérité eſt très-importante dans la connoiſſance des verres; ainſi quand je ſais, par exemple, qu'un verre a repréſenté, à la diſtance de 8 pouces, l'image d'un objet éloigné de 24 pouces; je puis hardiment en conclure, que ſi l'objet étoit éloigné de 8 pouces, le même verre en repréſenteroit l'image à la diſtance de 24 pouces.

Il eſt auſſi eſſentiel de remarquer que, lorſque la diſtance de l'objet eſt égale à celle du foyer, l'image s'éloignera ſubitement à l'infini; ce qui eſt parfaitement d'accord avec le rapport qui ſe trouve entre l'objet & l'image.

V. A. ſera ſans-doute curieuſe de ſavoir en quel lieu l'image ſera repréſentée, lorſqu'on approche davantage l'objet du verre & que ſa diſtance devient plus petite que celle du foyer. Cette queſtion eſt d'autant plus embarraſſante, qu'il faudroit répondre que la diſtance de l'image devroit être alors plus grande que l'infini, puiſque plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne. Mais l'image étant déja éloignée à l'infini, comment eſt-il poſſible, que ſa diſtance devienne plus grande? Cette queſtion pourroit ſans-doute embarraſſer les philoſophes, mais il eſt fort aiſé d'y répondre par les mathématiques. L'image paſſera d'une diſtance infinie, à l'autre côté du verre, & par conſéquent du même où ſe trouve l'objet. Quelque bizarre que paroiſſe cette réponſe, elle eſt non-ſeulement confirmée par le raiſonnement, mais par l'expérience, de-

rection F J P. Les deux autres rayons O M & O N en paſſant vers les bords du verre, y ſeront rompus, tant en entrant qu'en ſortant, de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, & continueront enſuite leur route dans les directions J Q & J R : on peut auſſi prouver que tous les autres rayons qui tombent entre M & N feront rompus, enſorte qu'ils ſe réuniſſent avec l'axe au-même point J. Donc les rayons qui ſans l'interpoſition du verre, auroient continué leurs routes rectilignes O M & O N, ſuivront après la réfraction d'autres routes, comme s'ils etoient partis du point J ; & s'il y avoit un œil quelque part en P, il en ſeroit affecté comme ſi le point lumineux étoit actuellement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. V. A. n'a qu'à ſuppoſer, pour un moment, qu'il y ait en J un objet réel, qui répandant ſes rayons, ſeroit également vû d'un œil placé en P, comme il voit à préſent l'objet en O par les rayons rompus par le verre ; parcequ'il y a en J une image de l'objet O, & que le verre A B y repréſente l'objet O, ou le tranſporte prèſqu'en J ; ce n'eſt donc plus le point O qui eſt l'objet de la vue, mais plutôt ſon image repréſentée en J.

Ce verre produit donc un changement bien conſidérable : un objet fort éloigné O eſt tranſporté ſubitement en J, d'où l'œil doit ſans-doute recevoir une impreſſion toute autre que ſi, ôtant le verre, l'œil voïoit immédiatement l'ob-

par les verres, deux choſes à conſidérer, l'une regarde le lieu où l'image eſt repréſentée, & l'autre la véritable grandeur de l'image, qui peut être très-diférente de celle de l'objet. La premiére étant ſuffiſamment éclaircie, je vais expoſer à V. A. une règle très-ſimple, qui lui fera juger aiſément, dans chaque cas, de quelle grandeur doit être l'image repréſentée par le verre.

Soit OP *Tab. VI. fig.* 1. un objet quelconque, ſitué ſur l'axe du verre convèxe MN, il faut d'abord chercher le lieu de l'image en J, deſorte que le point J eſt l'image du bout O de l'objet, puiſque les rayons émanés du point O, y ſont réunis par la réfraction du verre. Voyons maintenant en quel lieu ſera repréſentée l'image de l'autre point P de l'objet; pour cet effet, conſidérons les rayons PM, PA, PN, qui partant du point P tombent ſur le verre; j'obſerve que le rayon PA qui paſſe par le milieu du verre ne change point de direction, mais continue ſa route AKS: ce ſera donc quelque part ſur cette ligne en K, où les autres rayons PM & PN ſe réuniſſent: ou bien le point K ſera l'image de l'autre bout P de l'objet, le point J étant celle du point O: il eſt aiſé d'en conclure, que JK ſera l'image de l'objet OP, repréſentée par le verre.

Donc pour déterminer la grandeur de cette image, ayant trouvé le lieu J, il ne faut que tirer du bout P de l'objet, par le milieu du

verre A, la ligne droite PAKS & poser en J perpendiculairement à l'axe, la ligne JK, & celle-ci sera l'image en question; il est évident par-là que l'image est renversée, desorte que si la ligne OR étoit horizontale & l'objet OP un homme, l'image auroit la tête K en bas & les pieds en haut en J.

J'ajouterai là-dessus les remarques suivantes.

1. Plus l'image *Tab. VI. fig.* 2. est proche du verre, plus elle est petite: & plus elle en est éloignée, plus elle est grande. Ainsi OP étant l'objet placé sur l'axe devant le verre MN, si l'image tomboit en Q, elle feroit plus petite que si elle tomboit en R, S ou T. Car puisque la ligne droite PA*t* tirée du sommet de l'objet P par le milieu du verre, termine toujours l'image à quelque distance qu'elle s'en trouve, il est évident que, parmi les lignes Q*q*, R*r*, S*s*, T*t*, la première Q*q* est la plus petite, & que les autres croissent à mesure qu'elles s'éloignent du verre.

2. Il y a un cas où l'image est précisément égale à l'objet; c'est lorsque la distance de l'image est égale à celle de l'objet, ce qui arrive, comme j'ai déja remarqué, quand la distance de l'objet AO est double de celle du foyer du verre; l'image sera alors Tt ensorte que la distance BT est égale à AO. V. A. n'a donc qu'à considérer les deux triangles OAP & TA*t*, qui ayant tant les angles opposés par la pointe en A, que les côtés AO, & AT égaux

entr'eux, & de plus, les angles en O & T qui font droits: ces deux triangles font égaux entr'eux & ainfi le côté Tt, qui eft l'image, eft égal au côté OP qui eft l'objet.

3. Si l'image étoit deux fois plus éloignée du verre que l'objet, elle feroit double de l'objet; &, en général, autant de fois que l'image eft éloignée du verre que l'objet, elle fera plus grande. Or plus on approche l'objet du verre; plus l'image s'en éloigne, & devient par conféquent plus grande.

4. Il arrive le contraire lorfque l'image eft plus proche du verre que l'objet; elle eft alors autant de fois plus petite que l'objet, qu'elle eft plus proche du verre que lui. Si donc la diftance de l'image étoit 1000 fois plus petite que celle de l'objet, elle feroit auffi mille fois plus petite.

5. Appliquons cela aux verres ardens qui, expofés au foleil, repréfentent fon image dans le foyer, ou plutôt le foyer, c'eft-à-dire, ce cercle lumineux & brillant qui brule, & qui n'eft autre chofe que l'image du foleil repréfentée par le verre. V. A. ne fera donc plus furprife de la petiteffe de l'image, quoique le foleil foit fi exceffivement grand, puifqu'elle eft autant de fois plus petite que le véritable foleil dans le foyer, que la diftance du foleil eft plus grande que celle de l'image au verre.

6. Il eft donc clair, que plus la diftance du foyer d'un verre ardent eft grande, plus le cercle eft brillant dans le foyer, c'eft-à-dire,

plus l'image du soleil sera grande: & le diamètre du foyer est toujours environ 100 fois plus petit que la distance du foyer au verre.

J'aurai dans la suite l'honneur de parler à V. A. des diférens usages qu'on fait des verres convèxes, qui sont tous si curieux, qu'ils méritent bien son attention.

le 26 Décembre 1761.

LETTRE CXCIII.

Le premier usage des verres convèxes est celui des verres ardens, dont l'effet doit paroître tout-à-fait surprenant à ceux mêmes qui ont déja quelque teinture de la physique. En effet, qui croiroit que la simple image du soleil soit capable d'exciter un dégré si prodigieux de chaleur? Mais V. A. n'en sera plus surprise, si elle daigne faire quelqu'attention aux réflèxions suivantes.

1. Soit *Tab. VI. fig.* 3. MN un verre ardent, qui reçoit sur sa surface les rayons du soleil R, R, R, rompus de façon qu'ils présentent en F un petit cercle lumineux, qui est l'image du soleil, & d'autant plus petit, qu'il est plus près du verre.

2. Tous les rayons du soleil qui tombent sur la surface du verre, sont réunis dans le petit espace du foyer F, ainsi leur effet doit

y être autant de fois plus grand, que la surface du verre surpasse la grandeur du foyer soit l'image du soleil. On dit que les rayons qui étoient dispersés par toute la surface du verre sont concentrés dans le petit espace F.

3. Les rayons du soleil ayant un certain dégré de chaleur, ils éxercent ce pouvoir dans le foyer à un dégré fort sensible; on peut même estimer combien de fois ce dégré doit surpasser la chaleur naturelle des rayons du soleil : il ne faut que voir combien de fois la surface du verre est plus grande que le foyer.

4. Si le verre n'étoit pas plus grand que le foyer, la chaleur ne surpasseroit point la naturelle; il faut en conclure, que pour qu'un verre ardent produise un grand effet, il ne suffit pas qu'il soit convèxe ou qu'il représente l'image du soleil, il faut encore qu'il ait une surface qui surpasse plusieurs fois la grandeur du foyer, qui est d'autant plus petit, qu'il est proche du verre.

5. La France possède le plus excellent verre ardent; sa largeur est de 3 pieds, & on estime sa surface près de 2000 fois plus grande que le foyer ou l'image du soleil qu'il représente. Il faut donc qu'il produise dans le foyer une chaleur 2000 fois plus grande que celle que nous ressentons du soleil. Aussi ses effets sont-ils prodigieux : au premier instant tout bois est enflammé, les métaux sont fondus en peu de minutes; &, en général, le feu le plus ardent qu'on puisse produire, n'est pas à com-

parer avec la véhémence du foyer de ce verre.

6. On eſtime la chaleur de l'eau bouillante environ trois fois plus grande que celle que nous éprouvons des rayons du ſoleil pendant l'été, ou ce qui revient au même, la chaleur de l'eau bouillante eſt trois fois plus grande que la chaleur naturelle du ſang dans le corps humain. Mais pour fondre du plomb, il faut une chaleur trois fois plus grande que pour faire bouillir de l'eau, & pour fondre du cuivre, il la faut trois fois plus grande encore. L'or en éxige un bien plus haut dégré; une chaleur 100 fois plus grande que celle de notre ſang eſt donc capable de fondre l'or; combien de fois une chaleur 2000 fois plus grande, ne doit-elle donc pas ſurpaſſer la force de nos feux ordinaires?

7. Mais comment les rayons du ſoleil, réunis dans le foyer d'un verre ardent, y produiſent-ils ces effets prodigieux? C'eſt une queſtion bien difficile, ſur laquelle les philoſophes ſont fort partagés. Ceux qui ſoutiennent que les rayons ſont une émanation du ſoleil, lancée avec la grande viteſſe dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A., ne ſont pas en peine là-deſſus, ils n'ont qu'à dire que la matiére des rayons, frappant les corps avec violence, doit en briſer & détruire tout-à-fait les moindres particules. Mais ce ſentiment ne peut plus avoir lieu en ſaine phyſique.

8. L'autre ſyſtème, qui met la nature de

la lumiére dans l'ébranlement de l'éther, paroît peu propre à expliquer ces effets ſurprenans des verres ardens. En peſant bien cependant toutes les circonſtances, on ſera bientôt convaincu de la poſſibilité. Les rayons naturels du ſoleil excitent en tombant ſur un corps, les moindres particules de ſa ſurface à un ébranlement, ou mouvement de vibration, qui à ſon tour eſt capable d'exciter de nouveaux rayons, qui nous rendent ce même corps viſible. Et un corps n'eſt éclairé, qu'autant que ſes propres particules ſont miſes dans un mouvement de vibration ſi rapide, qu'il ſoit capable de produire de nouveaux rayons dans l'éther.

9. Il eſt donc clair, que ſi les rayons naturels du ſoleil ont aſſez de force pour ébranler les moindres particules des corps, ceux raſſemblés dans le foyer, doivent mettre celles qu'ils y rencontrent dans une agitation ſi violente, que leur liaiſon mutuelle ſoit tout-à-fait rompue, & le corps même entiérement détruit, ce qui eſt l'effet du feu. Car ſi le corps eſt combuſtible comme le bois, la diſſolution de ſes moindres particules, jointe à la plus rapide agitation, en chaſſe une bonne partie dans l'air, en forme de fumée, & les parties plus groſſiéres reſtent ſous la forme de cendres. Les corps fuſibles, comme les métaux, deviennent liquides par la diſſolution de leurs particules, d'où l'on peut comprendre, comment le feu agit ſur les corps; ce n'eſt que la liaiſon entre leurs

plus petites particules qui en eſt attaquée, & les particules mêmes y ſont enſuite miſes dans la plus grande agitation. Voilà donc un effet bien frappant des verres ardens, qui tire ſon origine de la nature des verres convèxes. J'aurai l'honneur d'en rapporter encore d'autres merveilles à V. A.

le 28 *Décembre* 1761.

LETTRE CXCIV.

On fait encore uſage des verres convèxes dans les chambres obſcures, & par leur moyen tous les objets de dehors ſont repréſentés dans la chambre ſur une ſurface blanche, avec leurs couleurs naturelles, de maniére que les payſages, ou les places, y ſont repréſentés dans une plus grande perfection, que ne pourroit le faire un peintre. Auſſi les peintres ſe ſervent-ils de ce moyen pour deſſiner avec éxactitude les payſages & autres objets qu'on voit dans l'éloignement. C'eſt de ces chambres obſcures que je me propoſe d'entretenir V. A.

Dans la *fig.* 4. *Tab. VI.* EFGH repréſente la coupe d'une chambre obſcure, bien fermée de toutes parts, à l'excèption d'un trou rond fait dans un volet, où l'on fixe un verre convèxe d'un foyer tel, que l'image des objets de dehors, comme, par éxemple, de l'arbre OP,

tombe exactement ſur la muraille oppoſée F G en *op*. On ſe ſert auſſi d'une table blanche & mobile qu'on met dans le lieu des images repréſentées.

Ce n'eſt donc qu'à travers ce trou MN, où eſt placé le verre, que les rayons de lumiére peuvent entrer dans la chambre, ſans quoi il y règneroit une obſcurité parfaite.

Conſidérons maintenant le point P de quelqu'objet, la tige par éxemple de notre arbre OP. Ses rayons PM, PA, PN tomberont donc ſur le verre MN & en ſeront réfractés, enſorte qu'ils ſe réuniſſent de nouveau au point *p* ſur la muraille, ou ſur une table blanche miſe expreſſément dans cet endroit. Ce point *p* ne recevra par conſéquent d'autres rayons que ceux qui viennent du point P, de même tout autre point de la table ne recevra que les rayons qui ſont partis du point de l'objet qui y répond; & réciproquement, à chaque point de l'objet du dehors, répondra un point ſur la table qui en reçoit uniquement les rayons. Si l'on ôtoit le verre du trou MN, la table ſeroit tout autrement éclairée, puiſqu'alors chaque point de l'objet répandroit ſes rayons par toute la table, deſorte que chaque point de la table ſeroit éclairé à la fois par tous les objets du dehors, au lieu qu'actuellement il n'eſt éclairé que par un ſeul point de l'objet dont il reçoit les rayons, d'où V. A. comprendra aiſément que l'effet doit en être tout-à-fait diférent, que ſi les rayons entroient ſimplement par le trou MN dans la chambre.

Voyons de plus près en quoi confiſte cette diférence, & ſuppoſons d'abord que le point P de l'objet ſoit verd, le point p de la table ne recevra donc que ces rayons verds de l'objet P, qui en ſe réuniſſant feront une certaine impreſſion qu'il s'agit d'éxaminer ici. Pour cet effet V. A. voudra bien ſe ſouvenir des propoſitions ſuivantes, que j'ai eu l'honneur de lui expliquer autrefois.

1. Les couleurs diférent entr'elles de la même maniére que les tons de la muſique : chaque couleur eſt produite par un nombre déterminé de vibrations qui, dans un tems donné, ſont excitées dans l'éther. Ainſi la couleur verte de notre point P eſt appropriée à un certain nombre de vibrations, & ne ſeroit plus verte ſi ces vibrations étoient plus ou moins rapides. Quoique nous ne connoiſſions pas le nombre des vibrations qui produiſent telle ou telle couleur, il nous ſera toujours permis de ſuppoſer ici que la couleur verte éxige 12000 vibrations par ſeconde, & ce que nous dirons de ce nombre de 12000 s'entendra auſſi aiſément du nombre véritable quel qu'il ſoit.

2. Cela poſé, le point p ſur la table blanche ſera frappé par un mouvement de vibration, dont 12000 s'achèvent dans une ſeconde. Or j'ai remarqué que les particules d'une ſurface blanche ſont toutes de nature à recevoir toutes ſortes d'ébranlemens, plus ou moins rapides, au lieu que celles d'une ſurface colorée ne ſont propres qu'à recevoir le dégré de rapidité

qui convient à leur couleur. Et puiſque notre table eſt blanche, le point *p* y ſera excité à un mouvement de vibration convenable à la couleur verte : ou bien il ſera agité 12000 fois par ſeconde.

3. Tant que le point *p*, ou la particule de la ſurface blanche qui ſe trouve en *p*, eſt agitée d'un ſemblable mouvement, elle le communiquera aux particules de l'éther qui l'environnent; & ce mouvement ſe répandant en tout ſens, engendrera des rayons de la même nature, c'eſt-à-dire, verds : ainſi que dans les ſons, le ſeul bruit d'un certain ſon C, par éxemple, ébranle une corde tendue au même ton & lui fait rendre du ſon ſans qu'elle ſoit touchée.

4. Le point *p* de la table blanche produira donc des rayons verds, comme s'il étoit teint de cette couleur : & ce que je dis du point *p*, aura lieu également pour tous les autres points de la table éclairée, qui produiront tous les rayons, chacun de la même couleur que l'objet dont il repréſente l'image. Chaque point de la table deviendra donc viſible ſous une certaine couleur comme ſi elle en étoit effectivement teinte.

5. On appercevra donc ſur la table toutes les couleurs des objets de dehors, dont les rayons entreront dans la chambre par le verre : chaque point en particulier paroîtra de la couleur de l'objet qui lui répond, & l'on verra ſur la table un amas de pluſieurs couleurs, diſpo-

ſées dans le même ordre qu'on les voit ſur les objets mêmes, c'eſt-à-dire, une peinture, ou plutôt le tableau au parfait de tous les objets qui ſe trouvent hors de la chambre obſcure devant le verre NN.

6. Tous ces objets paroîtront cependant renverſés, comme V. A. le jugera de ce que j'ai dit dans mes lettres précédentes. Le pied de l'arbre O ſera repréſenté en *o* & la tige P en *p*: car, en général, chaque objet doit être repréſenté ſur la table blanche, dans l'endroit où parvient la ligne droite tirée de l'objet P par le milieu du verre A; ce qui eſt en haut ſera par conſéquent repréſenté en bas, & ce qui eſt à gauche ſera à la droite; en un mot tout ſera renverſé ſur le tableau; cependant la repréſentation ſera plus éxacte & plus parfaite que ne pourroit la rendre le plus habile peintre.

7. V. A. remarquera, au reſte, que cette peinture ſera plus petite que les objets mêmes, d'autant que le foyer du verre ſera plus court. Ainſi les verres d'un foyer court rendront les objets en petit; & ſi l'on ſouhaite qu'ils ſoient rendus en grand, il faut employer des verres d'un foyer plus long, ou qui repréſentent les images à une plus grande diſtance.

8. Pour contempler plus à ſon aiſe ces repréſentations, on intercepte les rayons par un miroir, d'où ils ſont réfractés, enſorte qu'ils repréſentent toute la peinture ſur une table horizontale; ce qui eſt d'une grande commodité

lorſqu'on

lorſqu'on veut copier ce qu'on y voit repréſenté.

le 2 Janvier 1761.

LETTRE CXCV.

Quoique V. A. n'ait plus aucun doute ſur les repréſentations qui ſe font dans une chambre obſcure par le moyen d'un verre convèxe, j'eſpère que les réflèxions ſuivantes ne ſeront point ſuperflues, & ſerviront à mettre cette matiére dans un plus grand jour.

1. Il faut que la chambre ſoit parfaitement obſcure; car ſi elle étoit éclairée, la table blanche ſeroit viſible, & les particules de ſa ſurface déja ébranlées, ne pourroient plus recevoir l'impreſſion des rayons qui ſe réuniroient pour former les images des objets qui ſont hors de la chambre. Cependant, pourvu que la chambre ſoit peu éclairée, on appercevra toujours ſur la table quelque choſe de la repréſentation, quoiqu'elle ne ſoit pas ſi vive que ſi la chambre étoit entiérement obſcure.

2. En ſecond lieu il faut bien diſtinguer la peinture exprimée ſur la table blanche, de l'image que le verre repréſente par ſa propre nature, comme je l'ai expoſé ci-deſſus. Il eſt bien vrai que plaçant la table dans le lieu même où l'image des objets eſt formée par le verre, cette image ſe confondra avec la peinture

qu'on apperçoit fur la table, mais toutefois ces deux chofes font d'une nature tout-à-fait diférente : l'image n'eft qu'un fpectre ou une ombre voltigeant dans l'air, qui n'eft vifible qu'en certains endroits, tandis que la repréfentation eft un vrai tableau, que tous ceux qui font dans la chambre peuvent voir, & auquel il ne manque que la durée.

3. Pour éclaircir mieux cette diférence, on n'a qu'à bien confidérer la nature de l'image *o*, qui eft repréfentée dans la *fig.* 5. *Tab. VI.* par le verre convèxe MN, l'objet étant en O. Cette image n'eft autre chofe que le lieu où les rayons OM, OC, ON de l'objet, après avoir traverfé le verre, fe réuniffent par la réfraction, & continuent enfuite leur route comme s'ils venoient du point *o* quoiqu'ils prennent naiffance en O, & point du tout en *o*.

4. Cette circonftance fait que l'image *o* n'eft vifible qu'aux yeux qui fe trouvent quelque part, entre l'angle R*o*Q, comme en S, où un œil recevra effectivement des rayons qui lui viennent du point *o*. Mais un œil placé hors de cet angle, comme en F ou en V, n'en verra rien du tout, puifqu'aucun des rayons réunis en *o* n'y eft dirigé: ainfi l'image en *o* difère bien effentiellement d'un objet réel : elle n'eft vifible qu'en certains endroits, & reffemble en cela à ce qu'on nous raconte des fpectres.

5. Mais fi l'on place en *o* une table blanche, & que fa furface en ce point *o* foit réellement excitée à un ébranlement femblable à celui qui

règne dans l'objet O, cet endroit *o* de la surface engendre lui-même des rayons qui le rendent visible par-tout. Voilà donc la diférence entre l'image d'un objet & sa représentation, faite dans une chambre obscure : l'image n'est visible qu'en certains endroits, savoir dans ceux par où passent les rayons qui viennent originairement de l'objet ; au lieu que la peinture, soit la représentation formée sur la table blanche, est vue par ses propres rayons excités par le trémoussement des particules de sa surface, & par conséquent, par-tout dans la chambre obscure.

6. On voit aussi qu'il faut absolument mettre la table blanche éxactement dans le lieu de l'image formée par le verre ; afin que chaque point de la table ne reçoive d'autres rayons que ceux qui viennent d'un seul point de l'objet : car si d'autres rayons y tomboient aussi, ils troubleroient l'effet de ceux-là, ou rendroient la représentation confuse.

7. Si l'on ôtoit le verre tout-à-fait, & que les rayons trouvassent une entrée libre dans la chambre obscure, la table blanche en seroit éclairée sans qu'on y vît aucune peinture : les rayons des diférens objets tomberoient sur chaque point de la table & n'y exprimeroient aucune image déterminée. Ainsi la peinture qu'on voit dans une chambre obscure sur une surface blanche est l'effet du verre convèxe fixé au volet ; c'est lui qui réunit de nouveau dans un

ſeul point, tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet.

8. On obſerve cependant ici un phénomêne bien ſingulier, lorſque le trou fait au volet de la chambre obſcure eſt très-petit: quoiqu'il n'y ait point alors de verre, on apperçoit cependant ſur la muraille oppoſée, les images des objets qui ſont en dehors, & même avec leurs couleurs naturelles: mais la repréſentation eſt très-foible & confuſe, & dès qu'on élargit le trou, ce ſpectacle diſparoît entiérement. Je vais expliquer la cauſe de ce phénomêne.

Dans la *fig. 6. Tab. VI.* MN eſt la petite ouverture par laquelle les rayons des objets de dehors entrent dans la chambre obſcure EFGH. La muraille FH vis-à-vis du trou eſt blanche, pour mieux recevoir l'impreſſion de toutes ſortes de rayons.

Que le point O marque un objet, dont il n'y a que les rayons OM, ON, avec ceux qui ſe trouvent entr'eux, qui peuvent entrer dans la chambre: ces rayons tomberont ſur le petit eſpace *oo* de la muraille & l'éclaireront: cet eſpace *oo* ſera d'autant plus petit, ou approchera d'autant plus d'un point, que le trou MN ſera petit: ſi donc ce trou étoit très-petit, nous aurions l'effet précédent, où chaque point de la table blanche ne reçoit que les rayons d'un ſeul point de l'objet: il s'y feroit par conſéquent une repréſentation ſemblable à celle que produit le verre convêxe placé dans le trou du volet. Mais dans ce cas-ci, le trou ayant une cer-

taine étendue, quelque petit qu'il ſoit, chaque point O de l'objet éclairera un certain petit eſpace *oo* ſur la muraille & l'ébranlera par ſes rayons. Il arrivera donc à-peu-près la même choſe que ſi un peintre, au lieu de faire des points ſur le tableau, y faiſoit avec un gros pinceau des taches d'une certaine grandeur, en obſervant toutefois le deſſein & le coloris: ce ſera à un pareil barbouillage que reſſemblera notre repréſentation faite ſur la muraille: cependant elle ſera d'autant plus nette, que le trou par lequel les rayons entreront ſera petit.

le 5 Janvier 1762.

LETTRE CXCVI.

La chambre obſcure n'a proprement d'effet que ſur des objets fort éloignés, mais V. A. ſent bien, que ſon uſage s'étend auſſi à des objets plus voiſins; il faut alors éloigner davantage du verre la table blanche, conformément à cette règle générale, que plus on approche l'objet du verre convèxe, plus l'image, où la table blanche doit être placée, s'en éloigne; & ſi la chambre n'eſt pas aſſez profonde, il faut prendre un verre dont le foyer ſoit plus court.

On pourroit donc placer hors de la chambre, devant le trou où eſt le verre convèxe, un objet quelconque ou un tableau, & on en

verroit une copie ſur la table blanche dans la chambre obſcure, plus grande que l'original, ou plus petite, ſelon que la diſtance de l'image feroit plus ou moins grande: mais il feroit plus commode que l'objet put être expoſé dans la chambre obſcure même, afin que l'on put le manier & le changer comme on le jugeroit à propos. Il ſe préſente une grande difficulté à réſoudre; l'objet deviendroit obſcur lui-même, & par conſéquent incapable de produire l'effet que nous ſouhaiterions.

Il s'agit donc d'éclairer l'objet le plus qu'on pourra dans la chambre obſcure même, ſans que la lumiére puiſſe pénètrer dans la chambre. J'en ai trouvé le moyen; V. A. ſe ſouviendra que je l'ai exécuté dans une machine de cette nature, que j'ai eu l'honneur de lui préſenter il y a ſix ans: & V. A. comprendra bientôt la conſtruction & les principes ſur leſquels elle eſt fondée.

Cette machine conſiſte en une caiſſe bien fermée de tous côtés, à-peu-près ſemblable à la *fig.* 7. *Tab. VII.* où le côté de derriére EG a une ouverture IK, pour y chaſſer les objets, portraits ou autres peintures OP qu'on veut repréſenter; de l'autre côté vis-à-vis eſt un tuyau MNQR, contenant un verre convèxe MN; ce tuyau eſt mobile, pour pouvoir approcher le verre de l'objet ou l'en éloigner comme on voudra. Alors, pourvu que l'objet OP ſoit bien éclairé, le verre en jettera quelque part l'image *op*, & ſi l'on y place une table

blanche, on y verra une copie parfaite de l'objet, d'autant plus claire que l'objet lui-même ſera plus éclairé.

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caiſſe deux ailes à côté, pour y placer quelques lampes à groſſes mèches, & mis dans chaque aile un miroir qui réfléchit la lumiére des lampes ſur les objets OP: au-deſſus, en EF eſt une cheminée par où ſort la fumée des lampes. Telle eſt la conſtruction de cette machine, au dedans de laquelle l'objet OP peut recevoir une très-forte illumination, ſans que l'obſcurité de la chambre en ſoit diminuée. Pour l'uſage de cette machine il faut remarquer les articles ſuivans:

I. Si l'on enfonce le tuyau MNQR, ou qu'on approche le verre MN de l'objet OP, l'image *op* s'éloignera, il faut donc reculer la table blanche pour y recevoir l'image, qui en deviendra plus grande, & même on peut la groſſir autant qu'on veut, en approchant davantage le verre MN de l'objet OP.

II. En éloignant le verre de l'objet, la diſtance de l'image diminuera, il faut alors approcher la table blanche du verre pour avoir une repréſentation nette & diſtincte, mais elle ſera plus petite.

III. Il eſt clair que l'image ſera toujours renverſée, mais il eſt aiſé de remèdier à cet inconvénient, il ne faut que renverſer l'objet OP même, en tournant le haut en bas, &

l'image ſera repréſentée debout ſur la table blanche.

IV. C'eſt encore une remarque générale, que plus on groſſit l'image ſur la table blanche moins elle aura de lumiére & ſera plus obſcure: mais ſi l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuſe & plus brillante. La raiſon en eſt évidente, toute la clarté provient de l'illumination de l'objet; plus elle eſt répandue dans un grand eſpace, plus elle doit être affoiblie, & plus elle eſt reſſerrée, plus elle ſera brillante.

V. Ainſi, plus on veut groſſir la repréſentation, plus on doit renforcer l'illumination de l'objet, en augmentant la lueur des lampes dans les ailes de la machine; une illumination médiocre ſuffit.

La machine dont je viens de donner la deſcription, eſt nommée *Lanterne magique*, pour la diſtinguer d'une chambre obſcure ordinaire, dont on ſe ſert pour repréſenter les objets éloignés: la figure a ſans-doute occaſionné le nom de lanterne, ſur-tout parcequ'on y enferme des lumiéres; mais l'épithéte de *magique* vient de ce que les premiers poſſeſſeurs ont voulu perſuader au peuple qu'il y avoit de la magie ou du ſortilège. Cependant les lanternes magiques ordinaires ne ſont point conſtruites de cette façon, & ne ſervent à repréſenter d'autres objets que des figures peintes ſur le verre, au lieu que cette machine-ci peut être appliquée à toutes ſortes d'objets.

On peut même s'en servir pour représenter les plus petits objets, & les grossir prodigieusement, desorte que la plus petite mouche paroîtra aussi grande qu'un éléphant: mais alors la clarté des lampes ne suffit pas; il faut disposer la machine de maniére que les objets puissent être éclairés par les rayons du soleil renforcés par un verre ardent: la machine change alors de nom, & s'appelle *microscope solaire;* j'aurai occasion d'en parler plus amplement dans la suite.

le 8 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVII.

On se sert aussi de verres convèxes pour regarder immédiatement à travers: mais pour en expliquer les diférens usages, il faut pousser nos recherches sur la nature plus loin.

Ayant observé la distance de foyer d'un tel verre, j'ai déja remarqué que, lorsque l'objet en est fort éloigné, son image est représentée dans le foyer même, mais qu'en approchant l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus-en-plus, desorte que si la distance de l'objet est égale à celle du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, & devient par conséquent infiniment grande.

C'est parceque *Tab. VI. fig.* 7. les rayons

OM, OM, qui tombent du point O ſur le verre, ſont rompus par le verre, enſorte qu'ils deviennent paralleles entr'eux comme NF & NF, & comme les lignes paralleles ſont cenſées courir à l'infini, & que l'image eſt toujours où les rayons, qui ſont ſortis d'un point de l'objet, ſe réuniſſent de nouveau après la réfraction; dans le cas où la diſtance de l'objet OA eſt égale à celle du foyer du verre, le lieu de l'image s'éloigne à l'infini, & puiſqu'il eſt indiférent qu'on conçoive que les lignes paralleles NF & NF concourent à l'infini vers la gauche, ou qu'elles concourent vers la droite, on peut dire également que l'image ſe trouve tant à droite qu'à gauche, dans un éloignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, V. A. jugera facilement en quel lieu l'image doit ſe trouver, lorſqu'on approche davantage l'objet du verre.

Soit OP, *Tab. VI. fig.* 8. l'objet, & puiſque ſa diſtance OA du verre convèxe eſt moindre que ſa diſtance de foyer, les rayons OM, OM qui y tombent du point O ſont trop divergens, pour que la force réfractive du verre puiſſe les rendre paralleles entr'eux: ils feront donc encore divergens après la réfraction, comme le marquent les lignes NF, NF, mais beaucoup moins qu'auparavant, ainſi en prolongeant ces lignes en arriére, elles concourront quelque part en *o*, comme V. A. peut le voir dans les lignes ponctuées N*o*,

N *o*. Par conséquent les rayons NF, NF, après avoir passé par le verre, tiennent la même route que s'ils venoient du point *o*, quoiqu'ils n'ayent pas passé par ce point, puisque ce n'est que dans le verre qu'ils ont pris cette nouvelle route. Un œil qui reçoit ces rayons réfractés NF, NF sera donc affecté, comme s'ils venoient du point *o*, & s'imaginera que l'objet de sa vision éxiste en *o*. Il n'y aura pourtant pas d'image comme dans le cas précédent, on auroit beau mettre une table blanche en *o*, il ne s'y représenteroit aucun tableau, faute de rayons, c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, qui n'est point réelle: le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, éxistoit en *o*. Il est donc très-important de connoître, comme dans les cas précédens, le lieu & la grandeur de cette image imaginaire *op*. Il suffit pour le lieu, de remarquer que, si la distance de l'objet AO étoit égale à la distance du foyer du verre, l'image en seroit éloignée à l'infini, & c'est ce que ce cas a de commun avec le précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que celle du foyer du verre, plus l'image imaginaire s'approche du verre, quoique pourtant, elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même

Pour éclaircir la chofe par un éxemple, fuppofons que la diftance de foyer du verre foit de 6 pouces, & pour les diférens éloignemens de l'objet, la table ci-jointe nous marque la diftance de l'image imaginaire *op*.

Diftance de l'objet AO	Diftance de l'image imaginaire A*o*
6	infinie
5	30
4	12
3	6
2	3
1	1 & un cinquiéme

La règle pour trouver la grandeur de cette image imaginaire *op* eft aifée & générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué C) & par l'extrêmité de l'objet P, la ligne droite CP*p*; & à fa rencontre avec la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, fe trouvera la grandeur de l'image imaginaire *op*; d'où l'on voit que cette image eft toujours plus grande que l'objet même OP, autant de fois qu'elle eft plus éloignée du verre que l'objet OP. On voit auffi que cette image n'eft pas renverfée comme dans le cas précédent, mais debout comme l'objet.

V. A. doit comprendre quel ufage, les perfonnes dont la vue n'eft pas propre à regar-

der les objets de près, & qui les voyent mieux dans un grand éloignement, peuvent tirer de ces verres. Elles n'ont qu'à regarder les objets par des verres convèxes, pour les voir comme s'ils étoient fort éloignés. Le défaut de ne pas bien voir les objets près a lieu ordinairement chez les vieillards, qui se servent en conséquence de lunettes à verres convèxes, qui, exposés au soleil, brûlent comme un verre ardent, ce qui fait connoître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer soit fort court, d'autres d'un foyer plus grand, selon la portée de leur vue; mais il me suffit pour le moment d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

le 12 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVIII.

V. A. a vu comment les verres convèxes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils ne sont effectivement: il y a par-contre des yeux qui demandent, pour voir les objets distinctement, qu'ils leur soient représentés plus près, & ce sont les verres concaves qui leur rendent ce service: ce qui me conduit à l'explication de

l'effet des verres concaves, directement contraire à celui des verres convèxes.

Lorſque l'objet OP *Tab. VI. fig.* 9. eſt fort éloigné, & que ſes rayons OM, OM tombent prèſque paralleles ſur le verre concave TV, alors, au lieu de devenir convergens par la réfraction du verre, ils deviennent plus divergens au contraire, en ſuivant les routes NF, NF, qui, prolongées en arriére, concourent dans le point *o*; deſorte qu'un œil placé par exemple en E, reçoit ces rayons réfractés de la même maniére que s'ils partoient du point *o*, quoiqu'effectivement ils viennent du point O; & c'eſt pourquoi j'ai ponctué dans la figure les lignes droites N*o*, N*o*.

Comme l'objet eſt ſuppoſé infiniment éloigné, ſi le verre étoit convèxe, le point *a* ſeroit ce qu'on nomme foyer, mais puiſqu'il n'arrive ici aucune concurrence réelle de rayons, on nomme ce point, le foyer imaginaire du verre concave; quelques auteurs le nomment auſſi *point de diſperſion*, puiſque les rayons réfractés par le verre ſemblent être diſperſés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc pas un vrai foyer comme les convèxes, mais ſeulement un foyer imaginaire, dont la diſtance au verre A*o* eſt cependant auſſi nommée la diſtance du foyer de ce verre & ſert, par le moyen d'une règle ſemblable à celle qu'on donne pour les verres convèxes, à déterminer le lieu de l'i-

mage, lorſque l'objet n'eſt pas infiniment éloigné. Or cette image eſt toujours imaginaire, au lieu que pour les verres convèxes elle ne le devient, que lorſque l'objet eſt plus proche que la diſtance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette règle qui regarde uniquement le calcul, il ſuffit de remarquer:

I. Que lorſque l'objet OP eſt infiniment éloigné, l'image imaginaire *op* eſt repréſentée à la diſtance de foyer du verre concave, & cela vers le même côté que ſe trouve l'objet. Cependant, quoique cette image ſoit imaginaire, l'œil placé en E eſt tout auſſi bien affecté que ſi elle étoit réelle; comme j'ai eu l'honneur de le dire à V. A. au ſujet des verres convèxes, où l'objet eſt plus proche du verre que ſa diſtance de foyer.

II. Lorſqu'on approche l'objet OP davantage du verre, ſon image *op* s'en approchera davantage auſſi, mais de maniére que l'image ſera toujours plus proche du verre que l'objet, au lieu que pour les verres convèxes, l'image en eſt plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, ſuppoſons que la diſtance de foyer du verre concave ſoit de 6 pouces;

Si la diſtance de l'objet O A eſt	la diſtance de l'image *o* A ſera ;
infinie	6
30	5
12	4
6	3
3	2
2	1 & demi.

III. On détermine toujours par la même règle la grandeur de l'image imaginaire *o p*. On tire du milieu du verre une ligne droite, à l'extrêmité de l'objet P, qui paſſera alors par l'extrêmité *p* de l'image. Car puiſque la ligne P A repréſente un rayon qui vient de l'extrêmité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, paſſe par l'extrêmité de l'image; mais puiſque ce rayon P A paſſe par le milieu du verre, il ne ſouffre aucune réfraction, il faut donc qu'il paſſe lui-même par l'extrêmité de l'image, qui ſera en *p*.

IV. Cette image n'eſt pas renverſée, mais dans ſon ſens naturel comme l'objet; & l'on peut obſerver cette règle générale, que toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où eſt l'objet, elle eſt toujours repréſentée debout, que le verre ſoit convèxe ou concave; mais quand elle eſt repréſentée de l'autre côté du verre, elle eſt alors

alors renverſée; ce qui ne peut avoir lieu que dans les verres convèxes.

V. Il eſt donc clair, que les images repréſentées par les verres concaves ſont toujours plus petites que les objets: & la raiſon en eſt évidente, puiſque les images ſont plus proches qu'eux: on n'a qu'à regarder la figure pour s'aſſûrer de cette vérité. Ce ſont les propriétés principales qu'il faut remarquer ſur la nature des verres concaves, & la maniére dont ils repréſentent les objets.

Il eſt maintenant aiſé de comprendre, comment les verres concaves rendent de grands ſervices à ceux qui ont la vue courte. V. A. connoit bien des perſonnes qui ne ſauroient lire ou écrire ſans toucher prèſque le papier de leur né. Il faut donc, pour voir diſtinctement, qu'ils approchent les objets de leurs yeux, & je crois avoir déja remarqué qu'on leur donne le nom de Miopes: les verres concaves leur feront donc d'un excellent uſage; car ils leur repréſentent les objets les plus éloignés, comme fort près: les images n'étant éloignées de ces verres que de la diſtance de leur foyer qui, pour la plûpart, n'eſt que de quelques pouces.

Il eſt vrai que ces images ſont beaucoup plus petites que les objets mêmes; mais cela n'aporte aucun obſtacle à la viſion diſtincte. Une petite choſe peut nous paroître plus grande de près, qu'un très-grand corps fort

éloigné. En effet, une piéce de *deux-dreyer* * paroîtra plus grande à V. A. qu'une étoile du ciel, quoique cette étoile surpassât de beaucoup la terre en grandeur.

Ceux qui ont la vue courte, soit les miopes, ont donc besoin de verres qui leur représentent les objets plus près; tels sont les verres concaves. Et ceux qui ont la vue trop longue, qu'on nomme prèsbites, ont besoin de verres convèxes, qui leur représentent les objets dans un plus grand éloignement.

le 16 Janvier 1762.

LETTRE CXCIX.

J'AI eu l'honneur de dire à V. A. que les miopes sont obligés de se servir de verres concaves pour bien voir les objets éloignés, & que les prèsbites font usage de verres convèxes pour bien voir ceux qui sont près: chaque vue a une certaine étendue, & chacun voudroit avoir un verre qui lui représentât parfaitement les objets. Cette distance est fort petite chez les miopes, & très-grande chez les prèsbites: mais il y a des yeux si bien conditionnés, qu'ils voyent également

* Petite monnoye d'argent un peu plus grande que la prunelle de l'œil, qui est la quarante-huitiéme partie d'un écu.

bien les objets voiſins & ceux qui ſont à une grande diſtance.

Cependant, de quelque nature que ſoit la vue d'un homme, la diſtance n'eſt jamais trop petite, il n'y a point de miope qui puiſſe voir diſtinctement à moins de diſtance qu'un pouce; V. A. aura bien obſervé que, lorſqu'elle approche trop un objet de ſes yeux, elle ne le voit que très confuſément, cela dépend de la ſtructure des yeux, qui eſt telle chez les hommes, qu'ils ne peuvent pas voir à trop peu de diſtance: mais il eſt ſûr que les inſectes peuvent voir à de très-petites diſtances; & que les objets fort éloignés leur ſont inviſibles. Je ne crois pas qu'une mouche puiſſe voir les étoiles, parcequ'elle voit très-bien à la diſtance de la dixiéme partie d'un pouce, à laquelle nous ne voyons abſolument rien. Cette conſidération me conduit à l'explication des microſcopes, qui nous repréſentent les plus petits objets, comme s'ils étoient bien grands.

Pour en donner une idée juſte, il faut bien diſtinguer la grandeur apparente de chaque objet, de la véritable; celle-ci fait l'objet de la géometrie, & reſte invariable tant que le corps demeure dans ſon état. Mais la grandeur apparente peut varier à l'infini, quoique le corps demeure toujours le même. Ainſi les étoiles nous paroiſſent extrêmement petites, quoique leur grandeur véritable ſoit prodigieuſe, parceque nous en ſommes à une

très-grande diſtance. Si nous pouvions en approcher, elles nous paroîtroient plus grandes, d'où V. A. jugera que la grandeur apparente dépend de l'angle que font entr'eux les rayons qui viennent des extrêmités de l'objet dans nos yeux.

Soit PQ *Tab. VII. fig.* 1. l'objet de notre vue, qui, ſi l'œil étoit placé en A, paroîtra ſous l'angle PAQ, nommé l'angle viſuel; & qui nous indique la grandeur apparente de l'objet; d'où il eſt évident, que plus l'œil s'éloigne de l'objet, plus cet angle devient petit, & qu'il eſt poſſible que les plus grands corps nous paroiſſent ſous un très-petit angle viſuel, pourvû que nous en ſoyons aſſez éloignés, comme il arrive dans les étoiles. Mais quand l'œil s'approche davantage de l'objet, & qu'il le regarde de B, il lui paroîtra ſous l'angle viſuel OBQ, qui eſt viſiblement plus grand que PAQ. Approchons l'œil juſqu'en C, & l'angle viſuel PCQ ſera plus grand encore. De plus, l'œil étant placé en D, l'angle viſuel ſera PDQ, & en l'approchant juſqu'en E, l'angle viſuel ſera PEQ toujours plus grand. Donc, plus on approche l'œil de l'objet, plus l'angle viſuel devient grand, & la grandeur apparente plus forte. Quelque petit que ſoit l'objet, il eſt donc poſſible d'en augmenter la grandeur apparente autant qu'on voudra: il n'y a qu'à s'en approcher autant qu'il faut, pour un angle viſuel auſſi grand. Une mouche aſſez près de l'œil pourra par conſéquent

paroître ſous un angle auſſi grand qu'un éléphant à la diſtance de dix pieds. Il faut dans une telle comparaiſon, ajouter ſoigneuſement la diſtance dans laquelle on ſuppoſe voir l'éléphant; ſans cette condition, on ne diroit abſolument rien; puiſqu'un éléphant ne nous paroît grand, que quand nous n'en ſommes pas fort éloignés; à la diſtance d'un mille, on ne diſtingue peut-être plus un éléphant d'un cochon, & s'il étoit tranſporté dans la lune, il deviendroit abſolument inviſible, à cauſe de ſa trop petite grandeur apparente; & je pourrois bien dire qu'une mouche me paroît plus grande qu'un éléphant qui ſeroit dans un très-grand éloignement. Ainſi, quand on veut parler avec préciſion, il ne faut pas parler de la grandeur apparente d'un corps, ſans avoir égard à ſa diſtance, puiſque le même corps peut nous paroître très-grand, ou très-petit, ſelon que ſa diſtance eſt plus ou moins grande. Il eſt donc très-facile de voir les plus petits objets ſous de très-grands angles viſuels, on n'a qu'à les tenir à une très-petite diſtance de l'œil.

Cet expédient eſt très-bon pour une mouche, mais les yeux des hommes ne ſauroient rien voir à de trop petites diſtances, quelque courte que ſoit leur vue, d'ailleurs les bonnes vues voudroient voir auſſi les plus petits objets d'une extrême groſſeur. Il s'agit donc de trouver un moyen, par lequel nous puiſſions voir un objet diſtinctement, non-obſtant ſa

grande proximité de l'œil. Les verres convèxes nous procurent cet avantage, en éloignant l'image des objets trop près.

Qu'on ſe ſerve d'un verre convèxe très-petit MN, *Tab. VII. fig.* 2. dont la diſtance de foyer ſoit longue d'un demi pouce; ſi l'on place devant, un petit objet OP, à une diſtance un peu moindre que demi pouce, le verre en repréſentera l'image en *op*, auſſi loin qu'on voudra. Qu'on tienne donc l'œil derriére le verre, & l'on verra l'objet comme s'il étoit en *o*, & dans un éloignement ſuffiſant, comme ſi ſa grandeur étoit *op*: comme l'œil eſt ſuppoſé très-proche du verre, l'angle viſuel ſera *pio*, c'eſt-à-dire, le même que P*i*O, ſous lequel l'œil nud verroit l'objet OP dans cette proximité; mais la viſion eſt devenue diſtincte par le moyen du verre; tel eſt le principe de la conſtruction des microſcopes.

le 19 *Janvier* 1762.

LETTRE CC.

QUAND pluſieurs perſonnes regardent le même objet par un microſcope, le pied d'une mouche par éxemple, tous conviennent qu'ils le voyent très-grand, mais leur jugement ſur la véritable groſſeur ſera fort partagé, l'un

dira qu'il lui paroît auſſi grand que celui d'un cheval, un autre que celui d'une chèvre, le troiſiéme que celui d'un chat. Perſonne n'avance donc rien de précis là-deſſus, s'il n'ajoute à quelle diſtance il prétend voir les pieds du cheval, de la chèvre, ou du chat: ils ſous-entendent donc chacun ſans le dire, une certaine diſtance, qui étant ſans-doute diférente, on n'a pas lieu d'ètre ſurpris de leurs divers ſentimens, puiſqu'un pied de cheval vu de loin peut bien ne pas paroître plus grand qu'un pied de chat vu de près. Ainſi, quand il s'agit de dire combien un microſcope groſſit les objets, il faut s'accoutumer à parler d'une maniére plus préciſe, & expliquer principalement la diſtance, dans la comparaiſon qu'on veut faire.

Il ne convient donc pas de comparer les apparences que nous offrent les microſcopes avec les objets d'une autre nature, que nous ſommes accoutumés de voir, tantôt loin, tantôt près; le plus ſûr moyen de règler cette eſtime, ſemble celui dont les auteurs qui traitent des microſcopes, ſe ſervent actuellement. Ils comparent un petit objet vu par le microſcope, avec l'aſpect ſous lequel il ſeroit vu à la vue ſimple, en étant éloigné à une certaine diſtance, & ils ſont d'avis que, pour bien contempler ce petit objet à la vue ſimple, il le faut placer à la diſtance de 8 pouces, en ſe règlant ſur de bons yeux, car un miope s'en aprocheroit bien davantage, & un prèsbite ſe-

roit le contraire. Mais cette différence n'influe pas ſur le raiſonnement, pourvu qu'on fixe la diſtance ſur laquelle on ſe règle; & aucune raiſon ne nous oblige de fixer une autre diſtance que celle de 8 pouces, reçue de tous les auteurs qui ont traité cette matiére. Ainſi, quand on dit qu'un microſcope rend les objets 100 fois plus grands, V. A. entendra, qu'à l'aide de ce microſcope, les objets paroiſſent 100 fois plus grands que ſi nous les regardions à la diſtance de 8 pouces, &, par ce moyen, elle ſe formera une idée juſte de l'effet d'un microſcope.

En général, un microſcope groſſit autant de fois qu'un objet paroît plus grand que ſi on le regardoit ſans le ſecours du verre, à la diſtance de 8 pouces. V. A. conviendra bien que c'eſt déja un effet ſurprenant, que de voir un objet 100 fois plus grand qu'il ne paroit à la diſtance de 8 pouces: mais on a pouſſé la choſe beaucoup plus loin, & l'on a des microſcopes qui groſſiſſent juſqu'à 500 fois, ce qui eſt prodigieux; on pourroit bien dire alors que la jambe d'une mouche paroît plus grande que celle d'un éléphant. Je crois même qu'on pourroit faire des microſcopes qui groſſiroient 1000 fois & même 2000 fois, qui nous découvriroient ſans-doute quantité de choſes qui nous ſont encore inconnues.

Mais quand on dit qu'un objet paroît, par le microſcope, 100 fois plus grand qu'étant

vu à la distance de 8 pouces, il faut entendre par-là que l'objet est grossi tant en longueur qu'en largeur & profondeur, desorte que chacune de ces dimensions paroît 100 fois plus grande. On n'a donc qu'à concevoir à la distance de 8 pouces un autre objet semblable au premier, mais dont la longueur soit 100 fois plus grande, de même que sa largeur & sa profondeur, & ce sera l'image qu'on voit par le microscope. Or si la longueur, la largeur & la profondeur d'un objet sont cent fois plus grandes que celles d'un autre, V. A. sentira aisément que toute l'étendue sera beaucoup plus de 100 fois plus grande: pour mettre cela dans tout son jour, concevons deux parallelogrammes ABCD, & EFGH, qui ayent la même largeur *Tab. VII. fig.* 3. mais que la longueur du premier AB soit 5 fois plus grande que la longueur de l'autre EF, & il est clair que l'aire, soit l'espace contenu dans le premier, est 5 fois plus grande que celle qui est renfermée dans l'autre, puisqu'en effet celui-ci est contenu 5 fois dans le premier. Donc pour que le parallelogramme AD soit 5 fois plus grand que celui EH, il suffit que sa longueur AB soit 5 fois plus grande, pendant que la largeur est la même; & si outre cela la largeur étoit aussi 5 fois plus grande, il deviendroit encore 5 fois plus grand, & par conséquent 5 fois 5 fois, c'est-à-dire, 25 fois plus grand. Ainsi, de deux surfaces, si l'une est 5 fois plus longue & 5 fois plus

large que l'autre, elle eſt effectivement 25 fois plus grande.

Si nous mettons encore en ligne de compte la profondeur ou hauteur, l'augmentation ſera plus grande encore. Que V. A. conçoive deux chambres, dont l'une ſoit 5 fois plus longue, 5 fois plus large & 5 fois plus haute que l'autre: ſa capacité deviendra 5 fois 25 fois, c'eſt-à-dire 125 fois plus grande. Donc, lorſqu'on dit qu'un microſcope groſſit 100 fois, puiſqu'on doit l'entendre tant de la longueur que de la largeur & profondeur ou épaiſſeur, c'eſt-à-dire, trois dimenſions, toute l'étendue de l'objet ſera augmentée 100 fois 100 fois 100 fois; or 100 fois 100 fait 10000, qui étant pris encore 100 fois, donne 1,000,000, ainſi quand un microſcope groſſit 100 fois, l'étendue entiére de l'objet eſt repréſentée 1,000,000 fois plus grande. On ſe contente cependant de dire, que le microſcope ne groſſit que 100 fois; mais il faut entendre que chaque dimenſion, ſavoir la longueur, la largeur & la profondeur eſt repréſentée 100 fois plus grande. Si donc un microſcope groſſiſſoit 1000 fois, l'étendue entiére de l'objet deviendroit 1000 fois 1000 fois 1000 fois plus grande, ce qui fait 1,000,000,000 ou mille millions, ce qui ſeroit un effet prodigieux. Cette remarque eſt bien néceſſaire pour ſe former une idée juſte de ce qu'on dit ſur la force des microſcopes.

le 23 *Janvier* 1762.

LETTRE CCI.

Ayant expliqué à V. A. de quelle maniére on doit juger de la force des microſcopes, il me ſera facile de démontrer la propoſition fondamentale pour la conſtruction des microſcopes ſimples. Je dois remarquer à cette occaſion, qu'il y a deux ſortes de microſcopes, les uns d'un ſeul verre, & les autres de deux ou pluſieurs, qui portent le nom de microſcopes ſimples, & de microſcopes compoſés, & qui éxigent des éclairciſſemens particuliers. J'entretiendrai V. A. en premier lieu des microſcopes ſimples, qui ne conſiſtent que dans un ſeul verre convèxe, dont l'effet eſt déterminé par cette propoſition : *Un microſcope ſimple groſſit autant de fois que ſa diſtance de foyer eſt plus près que* 8 *pouces*, en voici la démonſtration.

Soit MN *Tab. VII. fig.* 4. un verre convèxe dont la diſtance de foyer ſoit CO, à laquelle il faut placer l'objet OP, à-peu-près, afin que l'œil le voye diſtinctement; il verra cet objet ſous l'angle OCP. Mais ſi l'on le regardoit à la diſtance de 8 pouces, il paroîtroit ſous un angle autant de fois plus petit que la diſtance de 8 pouces ſurpaſſe la diſtance CO; l'objet paroîtra donc autant de fois plus grand que ſi on le regardoit à la diſtance de 8 pouces. Or, ſelon la règle établie ci-deſſus, un microſcope

grossit autant de fois, qu'il nous présente les objets plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces. Par conséquent un microscope grossit autant de fois, que sa distance de foyer est plus petite que 8 pouces. Donc un verre, dont la distance de foyer est 1 pouce, grossit précisément 8 fois, & un verre dont la distance de foyer n'est qu'un demi-pouce grossira 16 fois. On divise un pouce en 12 parties qu'on nomme *lignes*, desorte qu'un demi-pouce contient 6 lignes; de-là il sera aisé de dire combien de fois chaque verre, dont la distance de foyer est donnée en lignes, doit grossir, selon cette table.

Distance de foyer du verre en lignes

	12.	8.	6.	4.	3.	2.	1.	½	lignes
Grossit	8.	12.	16.	24.	32.	48.	96.	192	fois.

Ainsi un verre convèxe, dont la distance de foyer est une ligne, grossit 96 fois; & si la distance est d'une demi-ligne, le microscope grossira 192 fois, ou environ 200 fois. Si l'on vouloit des effets plus grands, il faudroit faire des verres dont le foyer fut encore plus petit. Or j'ai déja remarqué que pour faire un verre, d'un certain foyer donné, on n'a qu'à mettre le rayon de chaque face égale à cette distance de foyer, desorte que le verre devienne également convèxe des deux côtés. Je vais donc exposer *Tab. VII. fig.* 5. aux yeux de V. A. les desseins de quelques-uns de ces verres, ou microscopes.

I. La diſtance de foyer de ce verre AO eſt d'un pouce ſoit 12 lignes. Ce microſcope groſſit donc 8 fois.
II. La diſtance de foyer du verre MN eſt de 8 lignes. Ce microſcope groſſit 12 fois.
III. La diſtance de foyer du verre MN eſt de 6 lignes. Ce microſcope groſſit 16 fois.
IV. La diſtance de foyer de ce verre eſt de 4 lignes. Ce microſcope groſſit 24 fois.
V. La diſtance de foyer de ce verre eſt de 3 lignes. Ce microſcope groſſit 32 fois.
VI. La diſtance de foyer de ce verre eſt de 2 lignes. Ce microſcope groſſit 48 fois.
VII. La diſtance de foyer de ce verre n'eſt que d'une ligne. Ce microſcope groſſit 96 fois.

On peut faire des microſcopes beaucoup plus petits encore. Les artiſtes en éxécutent, & nous procurent par ce moyen des effets beaucoup plus conſidérables, par où il faut bien remarquer, que la diſtance de l'objet au verre devient de plus en plus petite; puiſqu'elle doit être à-peu-près égale à la diſtance de foyer du verre. Je dis à-peu-près, parceque chaque œil y approche le verre tant ſoit peu plus ou moins ſelon ſa conſtitution; les miopes l'approchent davantage, & les prèsbites moins. V. A. voit donc, que plus l'effet eſt grand, plus le verre ou le microſcope devient petit, & plus auſſi il faut approcher l'objet: ce qui eſt un très-grand inconvénient, puiſque d'un côté il eſt incommode de regarder à travers un ſi petit verre, & d'un autre parceque l'objet doit être fixé ſi

près de l'œil. On tâche de remédier à ces inconvéniens par une garniture convenable, qui en facilite l'usage, mais la vision de l'objet se trouble considérablement, dès que la distance de l'objet souffre le moindre changement, & comme dans les plus petits verres l'objet doit prêsque les toucher, dès que la surface de l'objet est tant soit peu inégale, on ne le voit que confusément. Car quand les éminences se trouvent à la juste distance, les concavités sont trop éloignées & ne sauroient être vues que très-confusément. C'est ce qui nous oblige à renoncer aux microscopes simples quand on en souhaite qui grossissent beaucoup, & de recourir aux microscopes composés.

le 26 Janvier 1762.

LETTRE CCII.

V. A. vient de voir comment il faut faire des microscopes simples, qui grossissent autant de fois qu'on peut souhaiter, on n'a qu'à fixer une ligne droite de 8 pouces, comme celle que j'ai marqué AB * *Tab. VII. fig. 6.* qui contienne précisément 8 pouces du pied du Rhin dont on se sert par-tout en Allemagne. Alors, autant de fois que l'on veut gros-

* Dans l'impossibilité de représenter ici une ligne droite, de huit pouces, on en a mis une de quatre.

fir l'objet, il faut partager cette ligne AB en autant de parties égales, dont une donnera la distance de foyer du verre demandé. Ainsi, si l'on veut grossir cent fois, la particule A 1 est la centiéme partie de la ligne AB, par conséquent il faut faire un verre, dont la distance de foyer soit précisément égale à cette partie A 1, qui donnera en même tems le rayon des faces du verre qui est représenté art. VII. de la figure ci-dessus.

V. A. voit par-là, que plus l'effet est grand, plus le verre doit être petit, de même que la distance de foyer à laquelle il faut mettre l'objet OP devant le verre, en appliquant l'œil par derriére; & si l'on faisoit le verre deux fois plus petit que je ne l'ai désigné, pour grossir deux cent fois, il deviendroit si petit, qu'il faudroit prèsque un microscope pour voir le verre lui-même; aussi faudroit-il s'approcher si près qu'on toucheroit prèsque le verre, ce qui est un très-grand inconvénient, comme j'ai déja eu l'honneur de l'observer: desorte qu'on ne sauroit prèsque pousser l'effet du microscope au-delà de deux cent fois; ce qui ne suffit pas pour voir les plus petites choses que renferme la nature. L'eau la plus claire contient de petits animalcules, qui, quoiqu'on les voye grossis 200 fois, ne laissent pas de paroître comme des puces, & il faudroit des microscopes qui grossissent 20000 fois pour les voir de la grandeur d'un rat, & il s'en faut beaucoup qu'on atteigne ce dégré, même avec les microscopes composés.

Mais outre les inconvéniens des microſcopes ſimples que je viens de remarquer, tous ceux qui ſe ſervent de ces inſtrumens, ſe plaignent, quand ils en éxigent de très-grands effets, d'un autre qui n'eſt pas moins facheux, c'eſt que plus on groſſit les objets plus ils paroiſſent obſcurs; il ſemble qu'on les voit à la lueur d'une lumiére très-foible, ou même au clair de la lune, deſorte qu'on ne ſauroit prèſque rien y diſtinguer. V. A. n'en ſera pas ſurpriſe, lorſqu'elle voudra ſe ſouvenir, que la lumiére de la pleine lune eſt au-delà de deux cent mille fois plus foible que celle du ſoleil. Il eſt donc bien important d'expliquer d'où vient cette diminution de lumiére; on comprend aiſément que, ſi les rayons qui viennent d'un très-petit objet, doivent nous le repréſenter comme s'il étoit beaucoup plus grand, cette petite quantité de lumiére ne ſauroit être ſuffiſante: cependant, quelque fondée que paroiſſe cette raiſon, elle n'eſt pas valable, & ne fait que nous éblouïr ſur cette queſtion. Car ſi le verre, en groſſiſſant davantage, entraîne après lui néceſſairement une diminution de clarté, on devroit auſſi s'en appercevoir dans les moindres effets, à ſuppoſer même que ce ne fut pas à un ſi haut dégré; mais on peut groſſir juſqu'à 50 fois, ſans appercevoir la moindre diminution de lumiére, qui cependant devroit être 50 fois plus foible, ſi la raiſon alléguée étoit juſte. Il faut donc chercher ailleurs la cauſe de ce phé-

nomène

nomène & il faut même remonter aux premiers principes de la vision.

Je prie, à cette occasion, V. A. de se rappeller ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur l'usage de la pupille, soit de ce trou noir, qu'on voit dans l'œil sur le milieu de l'iris. C'est par cette ouverture que les rayons entrent dans les yeux; ainsi, plus cette ouverture est grande, plus il entre de rayons. Il faut considérer ici deux cas où les objets sont fort lumineux & brillans, & où ils ne sont éclairés que d'une lumiére fort foible. Dans le premier la pupille se contracte elle-même, sans que notre volonté le commande, & le Créateur la pourvût de cette faculté, pour préserver l'intérieur de l'œil du trop grand éclat de la lumiére, qui blesseroit infailliblement les nerfs. Toutes les fois donc qu'on se trouve dans un lieu fort éclairé, on voit que toutes les pupilles se rétrécissent, pour ne laisser entrer dans les yeux, qu'autant de rayons qu'il en faut pour y dépeindre une image assez lumineuse. Mais il arrive le contraire lorsqu'on se trouve dans un lieu sombre, la pupille s'agrandit alors pour recevoir la lumiére en plus grande quantité. Il est fort aisé de remarquer ce changement, toutes les fois qu'on passe d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé. Pour le sujet dont il s'agit ici, je me borne à cette circonstance, que plus il entre de rayons dans l'œil, plus l'image portée sur la rétine sera lumineuse; & réciproquement, plus la quantité de

rayons qui entrent dans l'œil, eſt petite, plus l'image y devient foible, & paroît par conſéquent plus obſcure. Il peut arriver qu'il n'entre que fort peu de rayons dans l'œil, quoique la pupille ſoit bien ouverte, on n'a qu'à faire un petit trou avec une épingle dans une carte, & regarder quelqu'objet ; alors, quelqu'éclairé qu'il ſoit du ſoleil, il paroîtra d'autant plus ſombre que le trou eſt plus petit, on peut même regarder le ſoleil à travers. La raiſon en eſt bien évidente, puiſqu'il n'entre dans l'œil que fort peu de rayons : quelqu'ouverte que ſoit la pupille, c'eſt le trou du carton qui détermine la quantité de lumiére qui entre dans l'œil, & non la pupille, qui fait ordinairement cette fonction.

Il arrive la même choſe *Tab. VII. fig.* 8. dans les microſcopes qui groſſiſſent beaucoup, car lorſque le verre eſt extrêmement petit, il n'y paſſe qu'une fort petite quantité de rayons comme *mn*, qui étant plus petite que l'ouverture de la pupille, fait paroître l'objet d'autant plus obſcur ; on voit par-là que cette diminution de lumiére n'a lieu, que lorſque le verre MN, ou plutôt ſa partie ouverte, eſt plus petite que la pupille. S'il étoit poſſible de produire un grand groſſiſſement par le moyen d'un verre plus grand, cet obſcurciſſement n'auroit pas lieu, & c'eſt la véritable explication de la queſtion. Pour remédier à cet inconvénient, dans les grands effets du microſcope, on tâche d'éclairer l'objet autant qu'il eſt poſſible, pour

rendre plus fort le peu de rayons qui est porté à l'œil. Pour cet effet, on éclaire les objets par le soleil même, & on se sert aussi de miroirs qui y renvoyent la clarté du soleil. Ce sont à-peu-près toutes les circonstances à considérer dans les microscopes simples, & V. A. jugera aisément par-là de l'effet de tous ceux qu'elle aura occasion de voir.

le 30 Janvier 1762.

LETTRE CCIII.

AVANT que d'expliquer la construction des microscopes composés, j'espère qu'une digression sur les lunettes soit télescopes ne déplaira point à V. A. Ces deux espèces d'instrumens sont parfaitement liés ensemble: l'un sert à mieux éclaircir l'autre. Comme les microscopes servent à considérer les objets voisins, en nous les représentant sous un angle beaucoup plus grand que si nous les regardions à une certaine distance, comme de 8 pouces, l'autre espèce est destinée à nous découvrir mieux les objets fort éloignés, en nous les représentant sous un angle plus grand qu'à la vue simple. Ces instrumens portent plusieurs noms, tant selon leur grosseur, que selon leur destination; les plus petits sont nommés lunettes de poche, d'autres plus grandes ont le même nom, qu'il

faut bien diſtinguer des lunettes, que les vieillards portent ſur le nez. Ceux dont ſe ſervent les aſtronomes, ſont nommés tubes; or le nom général de tous eſt celui de téleſcope. Ce ſont donc ces inſtrumens qui nous repréſentent les objets fort éloignés, ſous un plus grand angle qu'ils ne paroiſſent à la vue ſimple; cette définition eſt très-juſte & ne renferme rien d'arbitraire, comme celle des microſcopes, dont l'effet eſt rapporté arbitrairement à une certaine diſtance, qu'on ſuppoſe communément de 8 pouces.

Mais lorſqu'il s'agit d'objets fort éloignés, dont la diſtance eſt trop grande pour notre vue, l'effet ſe rapporte très-naturellement à la même diſtance, & un téleſcope groſſit autant de fois, qu'il nous repréſente les objets ſous un angle plus grand qu'à la vue ſimple. Par éxemple, la lune paroît à la vue ſimple ſous un angle d'un demi-dégré; par conſéquent un téleſcope groſſit 100 fois, lorſqu'il nous repréſente la lune ſous un angle de 50 dégrés, qui eſt 100 fois plus grand qu'un demi-dégré: s'il groſſiſſoit 200 fois, il feroit voir la lune ſous un angle de 100°; & la lune paroîtroit alors remplir plus de la moitié du ciel viſible, dont toute l'étendue n'eſt que de 180 dégrés.

On dit communément que les téleſcopes nous approchent les objets, ce qui eſt une maniére de parler fort équivoque, qui admet deux ſignifications diférentes. L'une, que voyant par un téleſcope, nous jugeons les objets au

tant de fois plus proches de nous, qu'il les grossit. Mais j'ai déja eu l'honneur de faire remarquer à V. A. que nous ne saurions connoître les distances des objets, que par le jugement, & que ce jugement ne sauroit avoir lieu que dans les objets peu éloignés; donc, lorsqu'ils le sont autant que nous le supposons ici, ce jugement sur les distances tromperoit beaucoup. L'autre signification, par laquelle on entend que les télescopes nous représentent les objets aussi grands que nous les verrions si nous en approchions davantage, est plus conforme à la vérité. V. A. sait que, plus on s'approche d'un objet, plus l'angle sous lequel il paroît, devient grand; ainsi, cette explication revient à celle que j'ai donné au commencement. Cependant, lorsqu'on regarde des objets fort connus, comme des hommes dans un grand éloignement, & qu'on les voit par une lunette sous un angle beaucoup plus grand, on est porté à s'imaginer que ces hommes sont beaucoup plus proches, puisqu'alors on les verroit effectivement sous un angle d'autant plus grand. Mais lorsqu'il s'agit d'objets peu connus, comme le soleil & la lune, aucune estime de distance ne peut avoir lieu. Ce cas est tout-à-fait diférent de celui dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A. où un verre concave, dont se servent ceux qui ont la vue courte, représente les images des objets à une fort petite distance: le verre concave, par exemple, dont je me sers, me représente les images de

tous les objets éloignés, à la diſtance de 4 pouces; cependant je ne m'imagine point que le ſoleil, la lune & les étoiles ſoient ſi près de moi; ainſi nous ne jugeons point que les objets ſoient où leurs images ſe trouvent repréſentées par les verres: nous le croyons auſſi peu que l'éxiſtence des objets dans nos yeux, quoique leurs images y ſoient dépeintes: & V. A. ſe ſouviendra bien, que le jugement ſur la véritable diſtance des objets, & ſur leur véritable grandeur, dépend de circonſtances toutes particuliéres.

Le but principal des téleſcopes eſt donc de groſſir ou de multiplier l'angle ſous lequel les objets paroiſſent à la vue ſimple; & la diviſion principale des téleſcopes ſe calcule ſelon l'effet qu'ils procurent; deſorte qu'on dit que tel téleſcope groſſit 5 fois, un autre 10, un autre 20 ou 30 & ainſi de ſuite. Je remarque à cet égard que les lunettes de poche groſſiſſent rarement au-delà de 10 fois; mais les lunettes ordinaires, dont on ſe ſert pour éxaminer les objets terreſtres fort éloignés, groſſiſſent depuis 20 juſqu'à 30 fois & leur longueur monte juſqu'à 6 pieds & au-delà. Un effet pareil, quoique très-conſidérable par rapport aux objets terreſtres, eſt encore peu de choſe pour les corps céleſtes, qui demandent un effet beaucoup plus grand. C'eſt pourquoi on a des lunettes aſtronomiques ou des tubes, qui groſſiſſent depuis 50 juſqu'à 200 fois, & il paroît difficile d'aller plus loin, puiſque, ſelon la ma-

niére ordinaire de les construire, plus l'effet est grand, plus elles deviennent longues. Une lunette qui doit grossir 100 fois a déja 30 pieds de longueur, & une de 100 pieds peut à peine grossir 200 fois. V. A. doit donc comprendre que la difficulté de diriger & de manier de telles machines, met des obstacles insurmontables à pousser l'expérience plus loin. Le fameux Hévélius, astronome de Dantzig, se servoit de tubes de 200 pieds, mais ces instrumens étoient sans-doute fort défectueux, puisqu'on découvre les mêmes choses aujourd'hui avec de beaucoup plus courts.

Telle est en gros la description des télescopes & de leurs diverses espèces, qu'il est bon de bien remarquer, avant que d'entrer dans le détail de leur construction, & de la maniére dont on joint deux ou plusieurs verres, pour produire tous les diférens effets.

le 2 Février 1762.

LETTRE CCIV.

On ne sait pas trop à qui nous sommes redevables de la découverte des telescopes; si c'est à un artisan Hollandois, ou à un Italien nommé Porta. Quoiqu'il en soit, il y a près de 150 ans qu'on a commencé à faire de petites lunettes de poche, composées de deux

verres, dont l'un étoit convèxe & l'autre concave. Il ſemble que c'eſt au haſard ſeul que l'on ſoit redevable d'une découverte ſi utile. On a pu, ſans aucun deſſein, rapprocher ou éloigner deux verres, juſqu'à-ce que les objets ont paru diſtinctement.

Le verre convèxe PAP *Tab. VII. fig.* 9. eſt dirigé vers l'objet, & c'eſt au verre concave QBQ qu'on applique l'œil; c'eſt pourquoi le verre PAP eſt nommé l'objectif & le verre QBQ l'oculaire. Ces deux verres ſont diſpoſés ſur le même axe AB, perpendiculaire ſur l'un & l'autre verre, & qui paſſe par le milieu. La diſtance de foyer du verre convèxe PAP doit être plus grande que celle du verre concave, & les verres doivent être diſpoſés de maniére que, ſi AF eſt la diſtance du foyer de l'objectif PAP, le foyer de l'oculaire QBQ tombe dans le même point F, ainſi, l'intervalle entre les verres AB, eſt la diférence entre les diſtances de foyer des deux verres; AF étant la diſtance de foyer de l'objectif & BF celle de l'oculaire. Quand les verres ſont placés, ceux qui ont la vue bonne, verront fort bien les objets éloignés, qui leur paroîtront autant de fois plus grands, que la ligne AF eſt plus grande que BF. Ainſi, prenant la diſtance de foyer de l'objectif de 6 pouces, & celle de l'oculaire de 1 pouce, les objets ſeront groſſis 6 fois, ou paroîtront ſous un angle ſix fois plus grand qu'à la vue ſimple, & dans ce cas, l'intervalle entre les ver-

res AB fera de 5 pouces, ce qui eft en même tems la longueur de la lunette. V. A. fent bien, fans que je le lui dife, que ces deux verres font enchaffés dans un tuyau de la même longueur, quoique je ne l'aye pas exprimé dans la figure.

Après avoir expofé de quelle maniére les deux verres doivent être joints enfemble, pour qu'il en réfulte un bon inftrument, il y a deux chofes que je dois faire remarquer à V. A.; l'une, pourquoi ces verres nous repréfentent diftinctement les objets, & l'autre pourquoi ils paroiffent groffis autant de fois, que la ligne AF furpaffe la ligne BF. Par rapport à la premiére, il faut remarquer, qu'une bonne vue voit mieux les objets, lorfqu'ils font fi éloignés qu'on puiffe regarder les rayons qui tombent dans l'œil, comme paralleles entr'eux.

Confidérons donc *Tab. VII. fig.* 10. un point V dans l'objet vers lequel eft dirigé la lunette, & puifqu'on le fuppofe fort éloigné, les rayons qui tombent fur l'objectif PQ, OAPQ feront prèfque paralleles entr'eux; ainfi, l'objectif QAQ étant un verre convèxe, le réunira dans fon foyer F, deforte que ces rayons étant convergens ne conviendroient point à une bonne vue. Or le verre concave en B, ayant le pouvoir de rendre les rayons plus divergens, ou de diminuer leur convergence, rompra les rayons QR & QR, enforte qu'ils deviendront paralleles entr'eux,

ou bien, au lieu de ſe réunir en F, ils prendront la route RS, RS parallele à l'axe BF; ainſi, une bonne vue, ſur laquelle on ſe règle toujours dans la conſtruction de ces inſtrumens, en recevant ces rayons paralleles RS, BF, RS, verra diſtinctement l'objet. Les rayons RS, RS deviennent préciſément paralleles entr'eux, parceque le verre concave a ſon foyer, ou plutôt ſon point de diſperſion, en F.

V. A. doit ſe ſouvenir que, lorſque les rayons paralleles tombent ſur un verre concave, ils deviennent divergens par la réfraction, enſorte qu'étant continués en arriére, ils ſe rendent dans le foyer. Cela poſé, nous n'avons qu'à renverſer le cas, & regarder les rayons SR, SR, comme incidens ſur le verre concave, alors il eſt certain qu'ils prendront les routes RQ, RQ, qui, continuées en arriére, ſe rendent au point F, où eſt le foyer commun des verres convèxe & concave. Maintenant c'eſt une loi générale que, de quelque maniére que les rayons ſoient rompus, en allant d'un lieu à un autre, ils doivent toujours ſouffrir les mêmes réfractions, en retournant du dernier lieu au premier. Si donc les rayons réfractés RQ, RQ, répondent aux rayons incidens SR, SR; alors, réciproquement, ſi les rayons QR, QR ſont les incidens, les réfractés ſeront RS & RS.

La choſe deviendra peut-être plus claire encore quand je dirai, que les verres conca-

ves ont le pouvoir de rendre paralleles ces rayons qui, sans la réfraction, se rendoient dans leurs foyers. Ou bien V. A. n'a qu'à bien saisir les règles suivantes sur la réfraction, tant des verres convèxes que concaves.

I. Par un verre convèxe *Tab. VII. fig.* 11. les rayons paralleles deviennent convergens.

Les convergens deviennent encore plus convergens, *Tab. VIII. fig.* 1.

Or les divergens deviennent moins divergens.

II. Par un verre concave les rayons paralleles deviennent divergens *Tab. VIII. fig.* 2.

Les divergens deviennent encore plus divergens *Tab. VIII. fig.* 3.

Or les convergens deviennent moins convergens.

Tout cela est fondé sur la nature de la réfraction & de la figure des verres, dont le détail demanderoit des discussions trop longues, & outre cela, les deux règles que je viens de rapporter en renferment l'essentiel. Il est donc suffisamment prouvé que, lorsque le verre convèxe & le verre concave sont joints de façon qu'ils acquiérent un foyer commun en F, les objets éloignés en seront représentés distinctement, puisque le parallelisme entre les rayons est rétabli par le verre concave, après que le verre convèxe les a rendus convergens. Ou bien, les rayons des objets fort éloignés étant prèsque paralleles entr'eux, deviennent convergens par les verres convèxes,

& ensuite le verre concave détruit cette convergence, & rend les rayons de nouveau paralleles entr'eux.

le 6 Février 1762.

LETTRE CCV.

Il me reste encore à faire voir à V. A. l'article principal sur les lunettes; c'est celui qui regarde leur effet, en grossissant les objets. J'espère de le mettre dans un tel jour, que toute espèce de doute sera dissipé: pour cet effet, je renfermerai ce que j'ai à dire dans les propositions suivantes.

I. Soit E*e* l'objet situé sur l'axe de la lunette *Tab. VIII. fig.* 4. qui traverse les deux verres perpendiculairement par leurs milieux. Or il faut considérer cet objet *Ee* comme infiniment éloigné.

II. Si donc l'œil placé en A regarde cet objet, il le verra sous l'angle EA*e*, nommé son angle visuel. Ainsi il faut prouver, qu'en regardant ce même objet par la lunette, il paroîtra sous un plus grand angle, & exactement autant de fois plus grand que la distance de foyer du verre objectif PAP surpasse celle de l'oculaire QBQ.

III. Comme l'effet de tous les verres consiste

à repréſenter les objets dans un autre lieu, & avec une certaine grandeur, nous n'avons qu'à éxaminer les images, qui ſeront ſucceſſivement repréſentées par les deux verres, dont la derniére eſt l'objet immédiat de la vue de celui qui regarde dans la lunette.

IV. Or l'objet E*e* étant infiniment éloigné du verre convèxe PAP, ſon image ſera repréſentée derriére le verre en F*f*, deſorte que AF ſoit égal à la diſtance de foyer du verre; & la grandeur de cette image F*f* eſt déterminée par la ligne droite *f*A*e* tirée de l'extrêmité de l'objet *e* par le milieu du verre A, par où l'on voit que cette image eſt renverſée, & autant de fois plus petite que l'objet, que la diſtance AF eſt plus petite que la diſtance AE.

V. Maintenant cette image F*f* tient lieu de l'objet, par rapport au verre oculaire QBQ: puiſque les rayons qui tombent ſur ce verre ſont ceux mèmes qui voudroient prêſque former l'image F*f*, mais ſont interceptés dans leur route par le verre concave QBQ: deſorte que cette image n'eſt qu'imaginaire; l'effet eſt cependant le même que ſi elle étoit réelle.

VI. Cette image F*f*, que nous regardons à préſent comme un objet, ſe trouvant à la diſtance de foyer du verre QBQ, ſera tranſportée prêſque à l'infini par la réfraction de ce verre. La figure précédente marque

cette nouvelle image en Gg, dont la distance AG doit être conçue comme infinie, & les rayons réfractés pour la seconde fois par le verre QBQ, tiendront la même route, comme s'ils venoient effectivement de l'image Gg.

VII. Cette seconde image Gg étant donc l'objet de celui qui regarde par la lunette, on en doit considérer la grandeur. Pour cet effet, puisqu'elle naît de la premiére image Ff par la réfraction du verre QBQ, suivant la règle générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre B une ligne droite, qui passe par f de la premiére image, & la ligne marquera en g l'extrêmité de la seconde image.

VIII. Que le spectateur tienne à présent son œil en B; & puisque les rayons qu'il reçoit tiennent la même route, comme s'ils venoient effectivement de l'image Gg, elle lui paroîtra sous l'angle GBg, qui est visiblement plus grand que l'angle EAe, sous lequel l'objet Ee paroît à la vue simple.

IX. Pour mieux comparer ces deux angles, il est d'abord clair que l'angle EAe est égal à l'angle FAf qui lui est opposé par la pointe; de la même maniére l'angle GBg est égal à l'angle FBf, puisqu'ils sont opposés par la pointe en B. Il s'agit donc de prouver que l'angle FBf surpasse l'angle FAf, autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF, dont celle-là AF est la distance de fo-

yer de l'objectif, & celle-ci BF la distance de foyer de l'oculaire.

X. Pour prouver cela, il faut recourir à certaines propositions tirées de la géomètrie sur la nature des secteurs. V. A. se souviendra qu'un secteur est une partie de cercle, renfermée entre deux rayons. CM & CN, est un arc ou portion de la circonférence MN. Ainsi, dans un secteur, il y a trois choses à considérer, 1°. le rayon du cercle CM ou CN; 2°. la quantité de l'arc MN; & 3°. l'angle MCN.

XI. Considérons maintenant *Tab. VIII. fig.* 5. deux secteurs MCN & *mcn* dont les rayons CM & *cm* soient égaux entr'eux, & il est prouvé dans les élémens de géomètrie, que les angles C & *c* tiennent entr'eux le même rapport, que les arcs MN & *mn*, ou bien l'angle C est autant de fois plus grand que l'angle *c*, que l'arc MN est plus grand que l'arc *mn*: mais au lieu de cette façon de parler peu commode, on se sert de celle-ci, les angles C & *c* sont proportionnels aux arcs MN & *mn*, lorsque les rayons sont égaux.

XII. Considérons aussi *Tab. VIII. fig.* 6. deux secteurs MCN & *mcn*, dont les angles C & *c* soient égaux entr'eux, mais les rayons inégaux; & il est prouvé dans la géomètrie, que l'arc MN est autant de fois plus grand que l'arc *mn*, que le rayon CM est plus grand que *cm*; ou bien on dit, que les arcs sont proportionels aux rayons, lorsque les

angles ſont égaux. La raiſon en eſt évidente, puiſque chaque arc contient autant de dégrés que ſon angle, & que les dégrés d'un grand cercle, ſont plus grands que ceux d'un petit, autant de fois que le grand rayon ſurpaſſe le petit.

XIII. Conſidérons enfin auſſi le cas, *Tab. VIII. fig.* 7. où dans les deux ſecteurs MCN & *mcn* les arcs ſont égaux entr'eux ſavoir MN = *mn* & les rayons CM & *cm* inégaux.

Alors l'angle C qui répond au grand rayon CM eſt plus petit, & l'angle *c* qui répond au petit rayon *cm* plus grand, & cela dans le même rapport que les rayons. Ou bien l'angle *c* eſt autant de fois plus grand que l'angle C, que le rayon CM eſt plus grand que le rayon *cm*: ou bien, pour parler en géomètre, les angles ſont réciproquement proportionels aux rayons, lorſque les arcs ſont égaux.

XIV. Cette derniére conſidération me conduira à mon but, en y ajoutant cette réflèxion, que lorſque les angles ſont fort petits comme cela arrive dans les lunettes de poche, alors les arcs MN & *mn* ne diférent pas ſenſiblement de leurs cordes, ou des lignes droites MN & *mn*.

XV. Cela remarqué, retournons à la *fig.* 4. *Tab. VIII.*; les triangles FA*f* & FB*f* peuvent être conſidérés comme des ſecteurs, où l'arc F*f* eſt le même de part & d'autre.

Par

Par conſéquent l'angle FBf ſurpaſſe autant de fois l'angle FAf que la diſtance AF ſurpaſſe la diſtance BF. Ou bien l'objet Ee paroîtra dans la lunette ſous un angle autant de fois plus grand, que la diſtance de foyer de l'objectif AF, ſurpaſſe la diſtance de foyer de l'oculaire BF, ce qu'il falloit démontrer.

le 9 Fevrier 1762.

LETTRE CCVI.

V. A. comprend aiſément qu'on ne ſauroit prétendre de trop grands avantages de ces petites lunettes, & j'ai déja remarqué qu'elles ne groſſiſſent les objets que de 10 fois. Si on vouloit pouſſer leur force plus loin, non-ſeulement la longueur en deviendroit trop grande pour pouvoir les porter dans la poche, mais il y auroit encore d'autres défauts plus eſſentiels, auxquels elles ſeroient ſujettes; ce qui a obligé les artiſtes de renoncer tout-à-fait à cette eſpèce de lunettes, dès qu'on demande de plus grands effets.

Le principal de ces défauts conſiſte dans la petiteſſe du champ apparent, ce qui me conduit à expliquer à V. A. cet article important qui regarde toutes les lunettes. Quand on dirige un téleſcope ou une lunette vers le ciel, ou vers d'autres objets fort éloignés ſur la ter-

re, l'efpace qu'on découvre paroît fous la figure d'un cercle, & on ne voit que les objets qui fe trouvent dans cet efpace; deforte que fi l'on veut voir d'autres objets, il faut changer la pofition de l'inftrument. Cet efpace circulaire, qui fe préfente aux fpectateurs, eft nommé le *champ apparent*, ou fimplement le champ de l'inftrument: & V. A. conviendra aifément, que c'eft un grand avantage, lorfque ce champ eft fort grand, & qu'un très-petit champ eft au contraire un grand défaut dans ces fortes d'inftrumens. Confidérons deux lunettes, qu'on ait dirigées vers la lune, & que par l'une on n'en découvre que la moitié, pendant que par l'autre on la voit toute entiére avec les étoiles voifines; le champ de celle-ci eft donc beaucoup plus grand que celui de celle-là. Celle qui préfente un plus grand champ nous difpenfe, non-feulement de l'embarras de changer fi fouvent de pofition, mais fait jouïr d'un avantage très-grand, celui de pouvoir comparer, en les voyant en même tems, plufieurs parties de l'objet entr'elles.

C'eft donc une des plus grandes perfections d'une lunette ou d'un télefcope lorfqu'il donne un plus grand champ; il eft donc très-intéreffant de méfurer le champ de tous ces inftrumens. Dans cette vue on fe règle fur le ciel, & on détermine l'efpace circulaire qu'on voit à travers une lunette, en méfurant le diamètre en dégrés & minutes; ainfi, comme le diamètre apparent de la pleine lune eft environ

d'un demi dégré, ſi une lunette ou un téleſcope ne découvre que la lune, on dit que le diamètre de ſon champ eſt d'un demi dégré: ſi l'on ne voyoit à la fois que le quart de la lune, le diamètre du champ ſeroit un quart de dégré.

La meſure des angles nous fournit donc le moyen de méſurer le champ apparent, & la choſe eſt d'ailleurs claire d'elle-même. Suppoſons dans la *fig.* 8. *Tab. VIII.* qu'on ne voye par l'inſtrument A B que l'eſpace P O P, & les objets qui y ſont contenus. Cet eſpace étant un cercle, ſon diamètre ſera ſur la ligne P O P dont le milieu O ſe trouve dans l'axe de l'inſtrument. Tirant donc des extrèmités P P les lignes droites P C, P C, l'angle P C P exprime le diamètre du champ apparent & la moitié de cet angle O C P, eſt nommée le demi-diamètre du champ apparent. V. A. comprendra donc parfaitement ce qu'on doit entendre, lorſqu'on dit que le diamètre du champ apparent d'un tel inſtrument eſt d'un dégré, que celui d'un autre eſt de 2 dégrés &c. ou bien en le marquant par minutes, de 30 minutes, qui ſont un demi dégré, ou de 15 minutes, qui ſont un quart de dégré.

Mais pour bien juger du mérite d'une lunette ou d'un téleſcope, par rapport au champ apparent, il faut auſſi avoir égard au groſſiſſement de l'inſtrument, où cette maxime a généralement lieu, que plus un téleſcope ou une lunette groſſit, plus le champ apparent doit néceſſairement être petit; ce ſont des bornes que

la nature même preſcrit. Concevons un inſtrument ſemblable qui groſſit 100 fois; il eſt évident que le diamètre du champ ne ſauroit être que de 2 dégrés: car puiſque cet eſpace nous paroitroit 100 fois plus grand, il reſſembleroit à un eſpace de 200 dégrés, & plus grand par conſéquent que le ciel entier qui, d'un bout à l'autre, ne contient que 180 dégrés, & dont nous ne ſaurions découvrir à la fois que la moitié tout au plus, ou bien un eſpace circulaire de 90 dégrés en diamètre: par-là V. A. voit qu'un téleſcope qui groſſit 100 fois, ne ſauroit même nous découvrir un champ d'un dégré: vu que ce dégré multiplié 100 fois feroit plus que 90 dégrés, & qu'ainſi une lunette qui groſſit 100 fois, ſeroit excellente ſi le diamètre de ſon champ étoit d'un peu moins que d'un dégré: & la nature même de l'inſtrument ne ſouffre pas un effet plus grand.

Mais une autre lunette ſoit téleſcope, qui ne groſſiroit que 10 fois, ſeroit bien défectueux s'il ne découvroit qu'un champ d'un dégré en diamètre; puiſque ce champ multiplié 10 fois, ne reſſembleroit qu'à un eſpace de 10 dégrés dans le ciel, ce qui ſeroit bien peu de choſe, & borneroit trop notre vue: nous aurions bien raiſon de rejetter tout-à-fait cet inſtrument; il ſera donc fort aiſé, par rapport au champ apparent, de juger de l'excellence ou du défaut de ces ſortes d'inſtrumens, quand on a égard à leur effet. Ainſi, lorſqu'il ne groſſit que 10 fois, on peut bien conjecturer, qu'il découvre

un champ de 9 dégrés, puiſque 9 dégrés pris 10 fois font 90 dégrés, que notre vue eſt capable d'embraſſer, & ſi le diamètre de ſon champ n'étoit que de 5 dégrés ou encore plus petit, ce ſeroit toujours un inſtrument fort défectueux. J'aurai l'honneur de prouver à V. A. que ſi l'on vouloit faire des lunettes de l'eſpèce dont j'ai donné la deſcription, qui groſſiroient plus de 10 fois, elles auroient ce défaut, leur champ apparent multiplié par le groſſiſſement ſeroit fort au-deſſous de 90 dégrés, & ne montreroit pas même la moitié. Mais pour de moindres effets, ce défaut n'eſt pas ſi ſenſible, car ſi une telle lunette ne groſſit que 5 fois, le diamètre de ſon champ eſt environ de 4 dégrés qui groſſi 5 fois, reſſemble à un eſpace de 20 dégrés, dont on veut bien être content: mais ſi l'on vouloit groſſir 25 fois, le diamètre du champ ne ſeroit que d'un demi dégré, qui pris 25 fois, ne donneroit que 12 dégrés, ce qui ſeroit trop peu. C'eſt pourquoi, quand on veut groſſir beaucoup, il faut ſe ſervir d'autres arrangemens de verres, que je prendrai la liberté d'expliquer dans la ſuite.

le 13 *Fevrier* 1762.

LETTRE CCVII.

Le jugement ſur le champ apparent étant de la plus grande importance dans la conſtruction des téleſcopes & des lunettes, j'en vais faire l'application aux petites lunettes ſur leſquelles j'ai déja eu l'honneur d'entretenir V. A.

Dans *fig.* 4. *Tab. VIII.* le verre PAP eſt l'objectif, QPQ l'oculaire & la droite EF l'axe de la lunette, ſur lequel à une diſtance très-grande ſe trouve l'objet E*e*, vu par l'inſtrument ſous l'angle EA*e* qui repréſente le demi-diamètre du champ apparent, puiſqu'il s'étend autant de l'autre côté en bas. Le point E eſt donc le centre de l'eſpace vu par la lunette, dont le rayon EA, puiſqu'il traverſe perpendiculairement les deux verres, ne ſouffre aucune réfraction; & ainſi pour que ce rayon entre dans l'œil, il faut fixer l'œil quelque part ſur l'axe de la lunette BF, derriére l'oculaire, enſorte que le centre de la prunelle ſe trouve dans la ligne BF, ce qui eſt une règle générale pour toutes les lunettes. Conſidérons à préſent l'extrêmité viſible de l'objet *e*, dont les rayons rempliſſent éxactement toute l'ouverture du verre objectif PAP, mais il ſuffira de n'en conſidérer que le rayon EA, qui paſſe par le milieu de l'objectif A, puiſque les autres rayons l'entourent & ne font prèſque que renforcer ce rayon, deſorte que s'il entre dans l'œil,

les autres, ou au moins une bonne partie y entrent aussi, & si ce rayon n'entre point dans l'œil, quoique peut-être quelques-uns des autres y entrent, ils sont trop foibles pour exciter dans l'œil une impression assez vive. Et ainsi nous pourrons fixer cette règle, que l'extrêmité *e* de l'objet n'est vue, qu'entant que le rayon *e*A, après avoir passé les deux verres, entre dans l'œil.

Tout bien considéré, il faut donc examiner avec soin la route de ce rayon *e*A. Or puisque ce rayon passe par le milieu de l'objectif A, il n'y souffre aucune réfraction; conformément à la règle établie au commencement, que les rayons qui passent par le milieu d'un verre quelconque, ne sont pas détournés de leur route, ou ne souffrent point de réfraction. Donc ce rayon *e*A après avoir passé par l'objectif, continueroit la même route pour se réunir avec les autres rayons sortis du même point *e*, au point *f* de l'image représentée par l'objectif en F*f*, le point *f* étant l'image du point *e* de l'objet: mais le rayon rencontrant en *m* le verre concave hors de son milieu, sera détourné de cette route & au lieu d'aboutir en *f* il prendra sa route en *mn* plus divergent de l'axe BF, comme c'est l'effet naturel des verres concaves de rendre les rayons toujours plus divergens. Pour connoître cette nouvelle route *mn*, que V. A. veuille bien se souvenir, que le verre objectif représente l'objet E*e* dans une situation renversée en F*f*, desorte que AF est égale à la dis-

tance du foyer de ce verre, qui transporte l'objet E*e* en F*f*. Alors cette image F*f* tient lieu de l'objet à l'égard du verre oculaire QBQ, qui, à son tour, le transporte de nouveau en G*g*, dont la distance BG doit être aussi grande que celle de l'objet même; & pour cet effet, il est nécessaire de placer l'oculaire desorte que l'intervalle BF soit égal à sa distance du foyer.

Pour la grandeur de ces images, la premiére F*f* est déterminée par la droite *e*A*f*, tirée de *e* par le milieu A du premier verre; & l'autre G*g* par la droite *f*B*g*, tirée du point *f* par le milieu B du second verre. Cela marqué, le rayon A*m* dirigé vers le point *f* est réfracté & sort en *mn*: & cette ligne *mn* étant continuée en arriére, passe par le point *g*, puisque ce rayon *mn* produit dans l'œil le même effet que s'il venoit effectivement du point *g*. Maintenant, comme cette ligne *mn* s'éloigne de plus-en-plus de l'axe BF, où le centre de la pupille se trouve, le rayon *mn* ne sauroit entrer dans l'œil, qu'entant que l'ouverture de la pupille s'étend jusques-là; & si l'ouverture de la pupille étoit réduite en rien, le rayon *mn* seroit exclus de l'œil, & ainsi le point *e* de l'objet ne sauroit être vu de l'œil, ni même aucun autre point de l'objet hors de l'axe AE: il n'y auroit donc point de champ apparent, & l'œil ne verroit par cette lunette que le seul point E de l'objet, qui se trouve dans son axe. Il est donc clair que cette espèce de lunette ne découvre

un champ, qu'autant que la pupille eſt ouverte, enſorte que, plus l'ouverture de la pupille eſt grande ou petite, plus auſſi le champ apparent ſera grand ou petit. Dans ce cas, le point *e* ſera donc encore viſible à l'œil, ſi le petit intervalle B*m* n'excède point la demi-largeur de la pupille, ou bien ſon demi-diamètre, afin que le rayon *mn* puiſſe y entrer; mais auſſi dans ce cas, il faut approcher l'œil du verre oculaire autant qu'on le peut: car puiſque le rayon *mn* s'éloigne de l'axe FB, il échapperoit à la pupille, dans un plus grand éloignement.

Maintenant il eſt aiſé de déterminer le champ apparent que ces lunettes nous découvrent ſur le verre oculaire: on n'a qu'à prendre l'intervalle B*m* égal à la demi-largeur de la pupille, & tirer par ce point *m* & le milieu du verre objectif A la ligne droite *m*A*e*, alors cette ligne marquera ſur l'objet l'extrêmité *e* qui ſera encore viſible par la lunette, & l'angle EA*e* donnera le demi-diamètre du champ apparent. Par-là V. A. jugera aiſément que, dès que la diſtance des verres AB ſurpaſſe de quelques pouces, l'angle BA*m* doit devenir très-petit, puiſque la ligne ou diſtance B*m* n'eſt qu'environ la vingtiéme partie d'un pouce. Or ſi l'on vouloit groſſir beaucoup, il faudroit que la diſtance des verres devint très-conſidérable, & il en réſulteroit que le champ apparent deviendroit infiniment petit. C'eſt donc la nature des yeux qui met des bornes à cette eſpèce de lu-

nettes, & qui nous oblige de recourir à d'autres eſpèces, dès qu'on ſouhaite des effets conſidérables.

le 16 Fevrier 1762.

LETTRE CCVIII.

En paſſant à la ſeconde eſpèce de lunettes, qu'on appelle lunettes aſtronomiques, & quelquefois tubes, je remarque que ces inſtrumens ne ſont compoſés que de deux verres, comme ceux de la premiére eſpèce; mais ici, au lieu de l'oculaire concave, on ſe ſert d'un convèxe. Je commencerai donc à donner à V. A. une idée de la conſtruction de ces lunettes aſtronomiques.

L'objectif PAP dans la *fig. 9. Tab. VIII.* eſt comme dans les autres, un verre convèxe, dont le foyer étant en F, on fixe ſur le même axe un plus petit verre convèxe QQ, deſorte que ſon foyer tombe dans le même point F. Tenant alors l'œil en O, deſorte que la diſtance BO ſoit à-peu-près égale à la diſtance de foyer de l'oculaire QQ, on verra les objets diſtinctement, & groſſis autant de fois que la diſtance de foyer de l'objectif AF ſurpaſſera celle de l'oculaire BF; mais ce qu'il y a à remarquer, c'eſt que tous les objets paroiſſent dans une ſituation renverſée, deſorte que ſi l'on dirige ces tubes vers les maiſons, on voit les toits en bas,

& le pavé en haut. Comme cette circonſtance n'eſt point agréable pour les objets terreſtres, que nous ne ſaurions voir renverſés, l'uſage de ces inſtrumens eſt borné aux objets céleſtes, qu'il nous eſt fort indiférent de voir dans un ſens ou dans un autre; il ſuffit à l'aſtronome de ſavoir que ce qu'il voit en haut ſe trouve réellement en bas, & réciproquement. Cependant, rien n'empèche qu'on ne ſe ſerve auſſi de ces lunettes pour les objets terreſtres, & on s'accoutume bientôt à voir les objets renverſés, pourvu qu'ils paroiſſent diſtinctement, & fort groſſis.

Après cette deſcription, je dois prouver trois choſes; la premiére, que par cet arrangement des verres, les objets doivent paroître diſtinctement; la ſeconde, qu'ils doivent paroître groſſis autant de fois que la diſtance de foyer de l'objectif ſurpaſſe celle de l'oculaire, & cela dans une ſituation renverſée; la troiſiéme enfin, qu'on ne doit pas appliquer l'œil immédiatement contre le verre oculaire, comme dans la premiére eſpèce, mais qu'il l'en faut éloigner à-peu-près à la diſtance de foyer de l'oculaire.

1. Pour le premier article, la choſe ſe prouve de la même maniére que dans le premier cas: les rayons eP, eP, qui ſont paralleles entr'eux avant que d'entrer dans le verre objectif, ſe réuniſſent par la réfraction dans le foyer de ce verre en F, ainſi, il faut que le verre oculaire rétabliſſe le paralléliſme entre ces rayons,

attendu que la vision distincte éxige que les rayons, partis de chaque point, soient à-peu-près paralleles entr'eux, lorsqu'ils entrent dans l'œil. Or le verre oculaire, ayant son foyer en F, est placé desorte qu'il rend les rayons FM, FM, par la réfraction, paralleles entr'eux; & conséquemment l'œil recevra les rayons N *o*, N *o*, paralleles entr'eux.

2. Pour le second article, considérons l'objet en E*e*, *Tab. VIII. fig.* 10. mais ensorte que la distance E A soit prèsqu'infinie. L'image de cet objet représentée par le verre objectif sera donc F*f*, située à la distance de foyer de ce verre AF, & déterminée par la droite *e*A*f*, tirée par le milieu du verre. Cette image F*f* qui est renversée, tient lieu d'objet par rapport au verre oculaire, & puisqu'elle se trouve dans son foyer, la seconde image sera de nouveau éloignée à l'infini par la réfraction de ce verre, & tombera par éxemple en G*g*, la distance AG devant être conçue comme infinie, de même que AE. Or pour déterminer la grandeur de cette image, on n'a qu'à tirer par le milieu B du verre, & l'extrèmité *f*, la droite B*fg*. Maintenant cette seconde image G*g* étant l'objet immédiat de la vision de celui qui regarde dans la lunette, il est d'abord clair, que cette représentation est renversée; & puisqu'elle est infiniment éloignée, elle paroîtra sous un angle GB*g*. Mais l'objet lui-même E*e* paroîtra à la vue simple sous l'angle EA*e*, où V. A. comprend, sans que je l'avertisse, qu'il est indifé-

rent de prendre les points A & B, pour avoir les angles visuels EA*e* & GB*g*, à cause de l'éloignement infini de l'objet. A présent V. A. voit ici, comme dans le cas précédent, que les triangles FA*f* & FB*f* peuvent être regardés comme des secteurs circulaires, la ligne F*f* étant l'arc de l'un & de l'autre, puisque les angles mêmes sont si petits, qu'on ne se trompe pas sensiblement en prenant la corde pour les arcs. Puis donc que les rayons de ces deux secteurs sont les lignes AE & BF, les arcs étant égaux entr'eux, il s'ensuit, de ce que j'ai prouvé ci-dessus fort amplement, que les angles FA*f* (ou bien EA*e*) & FB*f* (ou bien GB*g*) tiennent entr'eux le même rapport que les rayons BF & AF. Donc l'angle GB*g*, sous lequel on voit l'objet par la lunette, est autant de fois plus grand que l'angle EA*e* sous lequel on voit l'objet à la vue simple, autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF; & c'est la démonstration de mon second article. Je suis obligé de remettre celle du troisiéme à l'ordinaire prochain.

le 20 Fevrier 1762.

LETTRE CCIX.

Pour m'acquitter par rapport au troisiéme article, sur les lunettes astronomiques, qui regarde le lieu de l'œil derriére la lunette, je

remarque que cet article eſt le plus étroitement lié avec le champ apparent, & que c'eſt préciſément le champ qui nous oblige de tenir l'œil dans le lieu marqué, deſorte que ſi on l'approchoit ou l'éloignoit davantage, on ne découvriroit plus un ſi grand champ.

L'étendue du champ étant un article ſi eſſentiel & ſi important pour toutes les lunettes, il eſt également important de bien fixer l'endroit de l'œil, d'où il découvre le plus grand champ. Si on appliquoit l'œil immédiatement au verre oculaire, on auroit à-peu-près, le même champ qu'on a dans les lorgnettes, & qui devient d'une petiteſſe inſupportable, dès que le groſſiſſement eſt conſidérable. C'eſt donc un grand avantage pour les lunettes aſtronomiques, qu'en éloignant l'œil du verre oculaire, le champ apparent augmente juſqu'à un certain point, & c'eſt préciſément la raiſon qui rend ces lunettes ſuſceptibles de plus grands groſſiſſemens, pendant que celles de la premiére eſpèce ont été très-bornées à cet égard. V. A. a déja appris qu'avec ces lunettes, on pouſſe le groſſiſſement au-delà de 200 fois, ce qui leur donne une préférence infinie ſur celles de la premiére eſpèce, qui pourroient à peine groſſir 10 fois; & le petit inconvénient de la ſituation renverſée doit s'évanouïr tout-à-fait, par rapport à ce grand avantage.

Je tâcherai donc d'expliquer à V. A. cet important article auſſi clairement qu'il me ſera poſſible, & mes éclairciſſemens précédens ſur

le champ apparent, ne manqueront pas de m'être d'un très-grand ſecours.

1. L'objet E*e* *Tab. VIII. fig.* 11. étant infiniment éloigné, ſoit *e* ſon extrêmité encore viſible par la lunette, dont les verres ſont PAP & QBQ, diſpoſés ſur le commun axe EABO & il s'agit de bien conſidérer la route que tiendra le ſeul rayon qui paſſe de l'extrèmité de l'objet *e* par le milieu A du verre objectif. V. A. ſe ſouviendra encore que les autres rayons qui tombent du point *e* ſur le verre objectif, ne font qu'accompagner & renforcer le rayon propoſé *e*A, qui eſt le principal par rapport à la viſion.

2. Or ce rayon *e*A paſſant par le milieu du verre PP ne ſouffrira aucune inflèxion, mais continuera ſa route en ligne droite A*f*M, & paſſant par l'extrèmité de l'image F*f*, atteindra l'oculaire au point M, où il eſt bon d'obſerver que, ſi la grandeur du verre oculaire ne s'étendoit point juſqu'à M, ce rayon ne parviendroit jamais à l'œil, & le point *e* ſeroit inviſible. C'eſt-à-dire, il faudroit prendre l'extrèmité *e* plus proche de l'axe, pour que le rayon A*f*M rencontrat encore le verre oculaire.

3. Maintenant ce rayon AM ſera rompu, ou réfracté, par le verre oculaire, d'une maniére qu'il n'eſt pas difficile de découvrir. Nous n'avons qu'à conſidérer la ſeconde image G*g*, quoiqu'elle ſoit éloignée à l'infini, il ſuffit de ſavoir que la droite B*f* prolongée,

passe par l'extrèmité *g* de la seconde image G*g*, qui est l'objet immédiat de la vue. Cela remarqué, il faut que le rayon rompu prenne la route NO qui étant prolongée passe par le point *g*.

4. Puis donc que les deux lignes ON & B*f* concourent à l'infini en *g*, elles seront paralleles entr'elles, d'où nous tirons une méthode plus aisée pour déterminer la position du rayon rompu NO; on n'a qu'à le tirer parallele à la ligne B*f*.

5. De-là il est très-évident que le rayon NO concoure quelque part avec l'axe de la lunette en O, & puisqu'ordinairement, lorsque le grossissement est grand, le point F est beaucoup plus proche du verre QQ que du verre PP, l'intervalle BM sera tant soit peu plus grand que l'image F*f*; & puisque la ligne NO est parallele à *f*B, la ligne BO sera presque égale à BF, c'est-à-dire, à la distance de foyer du verre oculaire.

6. Si donc l'on tient l'œil en O, il recevra non-seulement les rayons qui viennent du milieu de l'objet E, mais aussi ceux qui viennent de l'extrèmité *e*, & par conséquent aussi ceux qui partent de tous les points de l'objet, l'œil recevroit même à la fois les rayons BO & NO, quand même la pupille seroit infiniment rétrécie. Dans ce cas donc, le champ apparent ne dépend point de l'ouverture de la pupille, pourvu que l'œil soit placé en O; mais

mais dès qu'il s'en éloigne, il doit perdre considérablement dans le champ apparent.

7. Si le point M n'étoit pas à l'extrèmité du verre oculaire, il transmettroit des rayons encore plus éloignés de l'axe, ainsi la lunette découvriroit un plus grand champ. Donc pour déterminer le vrai champ apparent que la lunette est capable de découvrir, qu'on tire du milieu A du verre objectif vers l'extrèmité du verre oculaire M, la ligne droite AM, qui continuée à l'objet y marquera en *e* l'extrèmité visible; conséquemment l'angle EA*e* ou bien BAM donne le demi-diamètre du champ apparent qui est par conséquent d'autant plus grand, que l'étendue du verre oculaire est plus grande.

8. Donc, comme dans la premiére espèce, le champ apparent dépendoit uniquement de l'ouverture de la pupille; ainsi, dans ce cas, il dépend uniquement de l'ouverture du verre oculaire, ce qui met une diférence très-essentielle entre ces deux espèces, à l'avantage de la derniére. La figure que j'ai employée à la démonstration de cet article sur le lieu de l'œil & le champ apparent, est aussi très-propre à éclaircir davantage les précédens.

Quand V. A. veut bien considérer que le verre objectif transporte l'objet E*e* en F*f*, & que le verre oculaire le transporte de F*f* en G*g*; cette image G*g* étant fort éloignée de l'objet immédiat de la vue, doit être vue distinctement, puisqu'un bon œil demande une

grande diſtance pour voir ainſi; ce qui étoit le premier article.

Pour le ſecond article il eſt d'abord évident que, puiſqu'au lieu du vrai objet E*e* on voit par la lunette l'image G*g*, elle ſera renverſée. Enſuite cette image eſt vue de l'œil placé en O ſous l'angle GO*g*, ou BON, pendant que l'objet même E*e* paroîtra à la vue ſimple ſous l'angle EA*e*; donc la lunette groſſit autant de fois que l'angle BON eſt plus grand que l'angle EA*e*. Or puiſque la ligne NO eſt parallele à B*f*, l'angle BON eſt égal à l'angle FB*f*, & l'angle EA*e* eſt égal à ſon oppoſé par la pointe FA*f*, d'où le groſſiſſement doit être jugé, du rapport entre les angles FB*f* & FA*f*, dont celui-là eſt autant de fois plus grand que celui-ci que la ligne AF, ou la diſtance du foyer de l'objectif, ſurpaſſe la ligne BF, ou la diſtance du foyer de l'oculaire. Ce qui eſt une preuve ſuffiſante que les élémens de géométrie peuvent être employés à des recherches d'une nature tout-à-fait diférente, ce que V. A. reconnoîtra avec bien de la ſatisfaction.

le 23 Février 1762.

LETTRE CCX.

Maintenant V. A. connoîtra, non-feulement combien de fois groffit une lunette propofée, mais la conftruction des lunettes qui groffiffent autant de fois qu'on veut. Dans le premier cas on n'a qu'à mefurer la diftance du foyer tant du verre objectif, que de l'oculaire, pour voir combien de fois l'une furpaffe l'autre, ce qui fe fait par la divifion, & le quotient marque le groffiffement.

Ayant donc une lunette dont la diftance de foyer de l'objectif eft de deux pieds, & celle de l'oculaire d'un pouce, il faut voir combien de fois un pouce eft contenu en deux pieds. Il faut déja favoir qu'un pied contient 12 pouces, & qu'ainfi deux pieds en font 24, qu'il faut divifer par un. Or, quelque nombre qu'on divife par un, le quotient lui eft toujours égal, ou fi l'on demande combien un pouce eft contenu en 24 pouces, on répond fans balancer 24 fois, par conféquent la lunette en queftion groffit 24 fois, c'eft-à-dire, nous repréfente les objets éloignés de la même maniére, que s'ils étoient 24 fois plus grands qu'ils ne le font; ou bien, on les verra par la lunette fous un angle 24 fois plus grand qu'à la vue fimple.

Confidérons une autre lunette aftronomique, dont la diftance de foyer du verre ob-

jectif eſt de 32 pieds & celle de l'oculaire de 3 pouces, & V. A. verra que ces deux verres doivent être éloignés l'un de l'autre de 32 pieds & 3 pouces, attendû que, dans toutes les lunettes aſtronomiques, la diſtance entre les verres eſt égale à la ſomme des deux diſtances de foyer des verres, comme il eſt clair par ma lettre précédente.

Pour trouver à préſent combien de fois cette lunette groſſit, il faut diviſer 32 pieds par 3 pouces, &, pour cet effet, convertir ces 32 pieds en pouces, en les multipliant par 12

32 pieds
12
———
64
32
———

ce qui donnera 384 pouces
enſuite, on diviſera ces 384 pouces par 3

3 ——— 384
———
128

& le quotient 128 marque que la lunette propoſée groſſit 128 fois, ce qui eſt ſans-doute un groſſiſſement très-conſidérable.

Réciproquement donc, pour conſtruire une lunette qui groſſiſſe un nombre donné de fois, par exemple 100 fois; il faut employer deux verres convêxes, dont la diſtance de foyer de l'un ſoit 100 fois plus grande que celle de l'autre; alors l'un donnera l'objectif & l'autre

l'oculaire. Il faut enſuite diſpoſer ces deux verres ſur un même axe, enſorte que leur diſtance ſoit égale à la ſomme des deux diſtances de foyer; ou bien on les fixe dans un tuyau de cette longueur, & alors, l'œil étant derriére l'oculaire, à la diſtance de ſon foyer, verra les objets 100 fois plus grands.

On pourra donc remplir cette condition d'une infinité de maniéres diférentes; en prenant un verre oculaire à volonté, & le joignant avec un objectif dont la diſtance de foyer ſoit 100 fois plus grande. Ainſi prenant l'oculaire d'un pouce de foyer, l'objectif doit être de 100 pouces de foyer, & la diſtance des verres 101 pouces. Or en prenant l'oculaire de 2 pouces de foyer, l'objectif doit avoir le ſien à la diſtance de 200 pouces, & celle entre les verres ſera de 202 pouces. Si l'on prenoit l'oculaire de 3 pouces de foyer, la diſtance de foyer de l'objectif devroit être de 300 pouces & celle entre les verres de 303 pouces. Et ſi l'on prenoit l'oculaire de 4 pouces de foyer, l'objectif devroit avoir ſa diſtance de foyer de 400 pouces, & celle entre les verres ſeroit de 404 pouces, & ainſi de ſuite en donnant toujours plus de longueur à la lunette. Mais ſi, au contraire, on ne donnoit à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, l'objectif devroit avoir 100 demi-pouces, c'eſt-à-dire, 50 pouces de foyer, & la diſtance entre les verres, ne ſeroit que 50 pouces & demi; ce qui fait un peu plus de 4 pieds. Et ſi l'on prenoit

l'oculaire d'un quart de pouce, l'objectif n'auroit que 100 quarts ou 25 pouces, & la distance entre les deux verres 25 pouces & un quart, ce qui feroit un peu plus que 2 pieds.

Voilà donc plusieurs maniéres de produire le même grossissement de 100 fois, & si nous avions la liberté du choix, V. A. n'hésiteroit pas à donner la préférence à la derniére, comme la plus courte; où, la lunette n'étant que de 2 pieds à-peu-près, est bien plus aisée à manier qu'une beaucoup plus longue.

Aussi personne ne balanceroit à préférer les lunettes les plus courtes, si toutes les circonstances étoient les mêmes, & que ces diférentes sortes représentassent les objets avec le même dégré de perfection. Mais, quoique toutes produisent le même grossissement, la représentation n'en est pas également nette & claire; celle de 2 pieds grossit bien 100 fois comme les autres, mais en regardant par cette lunette, les objets paroîtront non-seulement obscurs, mais mal terminés & confus, ce qui est sans-doute un très-grand défaut. L'avant derniére lunette, dont l'objectif est de 50 pouces de foyer, est moins sujette à ces défauts, cependant l'obscurité & la confusion y sont encore insupportables: & ces défauts diminuent à mesure qu'on se sert de plus grands verres objectifs, & seront déja beaucoup moindres, lorsqu'on emploiera un verre objectif de 300 pouces, avec un oculaire de 3 pouces de foyer; en augmentant ces mésu-

res, la repréſentation devient encore plus nette & plus claire, deſorte, qu'à cet égard, les longues lunettes ſont préférables aux courtes, quoique d'ailleurs elles ſoient moins commodes. Cette circonſtance m'ouvre la carriére pour expliquer encore à V. A. deux articles très-eſſentiels dans la théorie des lunettes; l'un regarde la clarté ou le dégré de lumiére dont les objets ſont vus; & l'autre la netteté d'expreſſion dont ils ſont repréſentés. Sans ces deux qualités, tout groſſiſſement, quelque grand qu'il ſoit, ne nous apporte aucun avantage pour la contemplation des objets.

le 27 Février 1762.

LETTRE CCXI.

POUR juger du dégré de clarté dont les lunettes nous repréſentent les objets, je me ſervirai des mêmes principes que j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A., lorſque j'ai traité le même ſujet, par rapport aux microſcopes.

Il faut d'abord faire attention, qu'il ne s'agit point dans cette recherche du dégré de lumiére, qui réſide dans les objets mêmes, & qui peut être très-diférent, tant dans les diférens corps, en ce qu'ils ſont par leur nature plus ou moins clairs, que dans un même

corps, en diférentes circonſtances. Les mêmes corps, lorſqu'ils ſont éclairés du ſoleil, ont ſans-doute plus de lumiére que lorſque le ciel eſt ouvert, & de nuit leur lumiére eſt tout-à-fait éteinte; mais diférens corps, éclairés par la lumiére, peuvent diférer beaucoup en clarté, ſelon que leurs couleurs ſont plus ou moins vives. Il n'eſt pas queſtion de cette lumiére, ou de cette clarté qui ſe trouve dans les objets mêmes; mais, qu'elle ſoit forte ou foible, on dit qu'une lunette repréſente les objets en pleine clarté, lorſque nous les voyons par ſon moyen auſſi clairement que par la vue ſimple; deſorte que ſi l'objet eſt obſcur, on ne ſauroit prétendre que la lunette nous le repréſente avec éclat.

Ainſi, par rapport à la clarté, une lunette eſt parfaite, lorſqu'elle nous repréſente les objets avec autant de clarté que ſi nous les regardions à la vue ſimple. Ce qui arrive, comme dans les microſcopes, lorſque toute l'ouverture de la pupille eſt remplie par les rayons qui viennent de chaque point de l'objet, après avoir été tranſmis par la lunette. Tant qu'une lunette fournit aſſez de rayons pour remplir toute l'ouverture de la pupille, on ne ſauroit déſirer plus de clarté; & quand elle en fourniroit en plus grande abondance, cela ſeroit inutile, puiſqu'il n'en entreroit également pas davantage dans l'œil.

Il faut donc avoir principalement égard ici à l'ouverture de la pupille, qui étant varia-

ble, empèche de rien fixer là-deſſus, ſi l'on ne ſe règle ſur une certaine ouverture, qui eſt ſuffiſante lorſque la pupille, dans l'état de la plus grande contraction, eſt remplie de rayons, &, pour cela, on ſuppoſe communément le diamètre de la pupille d'une ligne, dont 12 ſont un pouce; on ſe contente ſouvent même de la moitié, en ne donnant à la pupille que la moitié d'une ligne, & quelquefois moins encore.

Si V. A. conſidère que la lumiére du ſoleil ſurpaſſe 300,000 fois celle de la lune, qui pourtant eſt aſſez conſidérable, elle jugera bien qu'une petite diminution de clarté n'eſt pas de grande conſéquence dans la contemplation des objets. Après cela il ne me reſte qu'à examiner les rayons que la lunette tranſmet dans l'œil, pour les comparer avec la pupille, & conſidérer les rayons qui viennent d'un ſeul point de l'objet, *Tab.* 9. *fig.* 1. celui, par éxemple, qui ſe trouve dans l'axe de la lunette.

I. L'objet étant éloigné à l'infini, les rayons qui en tombent ſur la ſurface du verre objectif PAP, ſont paralleles entr'eux; donc tous les rayons qui viennent du centre de l'objet ſeront contenus entre les lignes LP, LP paralleles à l'axe EA : tous ces rayons enſemble ſont nommés le faiſceau des rayons qui tombent ſur le verre objectif, & l'épaiſſeur de ce faiſceau eſt égale à l'étendue, ou

à l'ouverture du verre objectif, dont le diamètre eſt PAP.

II. Ce faiſceau de rayons ſe change par la réfraction du verre objectif, dans une figure conique ou pointue PFP, & après s'être croiſé dans le foyer F, il forme un nouveau cône *mFm* terminé par le verre oculaire, où il eſt évident que la baſe de ce cône *mm* eſt autant de fois plus petite que la largeur du faiſceau PP, que la diſtance FB eſt plus courte que la diſtance AF.

III. Maintenant ces rayons F*m*, F*m*, en paſſant par le verre oculaire QBQ, redeviennent de nouveau paralleles entr'eux, & forment le faiſceau de rayons *no*, *no*, qui entrent dans l'œil, & y dépeignent l'image du point de l'objet d'où ils ſont partis originairement.

IV. Tout revient à préſent à l'épaiſſeur de ce faiſceau de rayons *no*, *no* qui entre dans l'œil, & ſi cette épaiſſeur *nn* ou *oo* eſt égale ou plus grande que l'ouverture de la pupille, elle en ſera remplie, & l'œil jouïra de toute la clarté poſſible, ou bien l'objet paroîtra avec autant de clarté, que ſi on le regardoit ſans autre ſecours que celui des yeux.

V. Mais ſi ce faiſceau *nn*, ou *oo* étoit beaucoup moins épais que la pupille, il eſt évident que la repréſentation deviendroit d'autant plus obſcure, ce qui ſeroit un grand défaut à la lunette.

Pour y remèdier, il faut donc que ce faisceau ait la moitié d'une ligne d'épaisseur & il feroit bon qu'il fut d'une ligne entiére, puisque c'est l'ouverture ordinaire de la pupille.

VI. Il est clair que l'épaisseur de ce faisceau a un certain rapport avec celle du premier, qu'il n'est pas difficile de déterminer: on n'a qu'à voir combien de fois l'intervalle *n n*, ou *m m* est plus petit que celui P P, qui est l'ouverture du verre objectif. Or l'intervalle PP est à *m m* en même proportion que la distance AF à BF, d'où dépend le grossissement; ainsi, le grossissement même nous montre, combien de fois le faisceau LPLP est plus large que celui *n o n o* qui entre dans l'œil.

VII. Puis donc que la largeur *mm* ou *oo* doit être une ligne ou au moins une demi-ligne, l'ouverture du verre objectif P P doit au moins contenir autant de demi-lignes, que le grossissement indique; ainsi quand la lunette doit grossir 100 fois, l'ouverture de son verre objectif doit avoir pour diamètre 100 demi-lignes, ou 50 lignes, qui sont 4 pouces & deux lignes.

VIII. V. A. voit donc que, pour éviter l'obscurité, il faut que l'ouverture de l'objectif soit d'autant plus grande, que le grossissement est grand. Et conséquemment, si le verre objectif qu'on veut employer, n'est pas susceptible d'une telle ouverture,

la lunette sera défectueuse pour la clarté de la représentation.

Maintenant il est assez clair que, pour de grands grossissemens, on ne sauroit employer des petits objectifs, dont la distance de foyer soit trop petite, puisqu'un verre formé par des arcs de petits cercles, ne sauroit avoir une grande ouverture.

le 1 *Mars* 1762.

LETTRE CCXII.

V. A. vient de voir que le grossissement détermine la grandeur ou l'étendue du verre objectif, afin que les objets paroissent avec un dégré suffisant de clarté. Cette détermination ne regarde que la grandeur ou l'ouverture de l'objectif, cependant sa distance de foyer s'en ressent aussi, desorte que plus le verre doit être grand, plus sa distance de foyer doit l'être.

La raison en est évidente, puisque pour former un verre dont la distance de foyer est par éxemple de deux pouces, ses deux faces doivent être des arcs de cercle dont le rayon est aussi environ de deux pouces: j'ai donc représenté *Tab. IX. fig.* 2. deux verres P & Q, où les arcs sont décrits avec un rayon de deux pouces. Le verre P étant plus épais,

eſt bien plus grand que celui Q, mais j'expliquerai dans la ſuite, que les verres épais ſont aſſujettis à d'autres inconvéniens, qui ſont même ſi grands, qu'il faut renoncer entiérement à leur uſage. Le verre Q ſera donc plus propre pour la pratique, puiſqu'il eſt compoſé de moindres arcs du même cercle, & comme ſa diſtance de foyer eſt de deux pouces, ſon étendue ou ouverture *mn* pourroit à peine ſurpaſſer un pouce. D'où l'on peut établir cette règle générale, que la diſtance de foyer d'un verre doit toujours être plus de deux fois plus grande que le diamètre de ſon étendue *mn*, ou que l'ouverture d'un verre doit néceſſairement être plus petite que la moitié de ſa diſtance de foyer.

Ayant donc remarqué que pour groſſir 100 fois, l'ouverture de l'objectif doit ſurpaſſer 4 pouces, il s'enſuit que la diſtance de foyer doit ſurpaſſer 3 pouces, & je ferai voir bientôt que le double ne ſuffit pas, & qu'il faut même augmenter la diſtance de foyer de ce verre, au-delà de 300 pouces. La netteté d'expreſſion de l'image demande cette grande augmentation, dont je parlerai dans la ſuite; je me contente de remarquer ici, qu'à l'égard de la figure géomètrique du verre, l'ouverture ne ſauroit être plus grande que la moitié de ſa diſtance de foyer.

Je m'étendrai donc ici un peu plus en détail ſur l'ouverture de l'objectif que chaque groſſiſſement éxige, & je remarque d'abord

que, quoiqu'un dégré suffisant de clarté demande une ouverture de 4 pouces, lorsque la lunette doit grossir 100 fois, on se contente dans les lunettes astronomiques d'une de 3 pouces, puisque la diminution de clarté en devient peu sensible; d'où les artistes ont établi la règle, que pour grossir 100 fois, il faut que l'ouverture de l'objectif soit de 3 pouces & pour les autres grossissemens à proportion. Ainsi pour grossir 50 fois, il suffit que l'ouverture de l'objectif soit d'un pouce & demi; pour grossir 25 fois trois quarts de pouce suffisent & ainsi des autres grossissemens.

L'on voit par-là qu'une très-petite ouverture de l'objectif est suffisante pour les petits grossissemens, & que par conséquent la distance de foyer peut être très-médiocre. Mais si l'on veut grossir 200 fois, l'ouverture de l'objectif doit être de 6 pouces, ou d'un demi-pied, ce qui demande déja un très-grand verre, dont la distance de foyer doit surpasser même 100 pieds, pour obtenir une expression nette & bien déterminée: c'est pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si longues, au moins selon l'arrangement ordinaire des verres que j'ai l'honneur d'expliquer à V. A. Car depuis quelque tems, on a travaillé avec beaucoup de succès à diminuer cette longueur excessive. Cependant l'ouverture de l'objectif doit suivre la règle que je viens d'établir, puisque la clarté en dépend nécessairement.

Si donc l'on vouloit faire une lunette qui grossît 400 fois, l'ouverture de l'objectif devroit toujours être de 12 pouces ou d'un pied, quelque petite qu'on pût rendre sa distance de foyer: & si l'on vouloit grossir 4000 fois, l'ouverture de l'objectif devroit être de 10 pieds, ce verre seroit donc bien grand & même trop, pour que nos artistes pussent l'exécuter, & c'est pourquoi nous ne saurions espérer de porter jamais le grossissement aussi loin, à moins qu'un prince ne voulut faire les dépenses nécessaires pour former & travailler de si grands verres; encore, peut-être n'y réussiroit-on pas.

Cependant une lunette qui grossiroit 4000 fois devroit nous découvrir bien des merveilles dans le ciel: la lune nous paroîtroit 4000 fois plus grande, que nous ne la voyons à la vue simple; ou bien nous la verrions comme si elle étoit 4000 fois plus près de nous qu'elle n'est. Voyons donc jusqu'à quel dégré nous pourrions y distinguer les diférens corps qui s'y trouvent. On estime la distance de la lune de 52000 milles d'Allemagne, dont la 4000 partie fait 13 milles, ainsi cette lunette nous la feroit voir comme si nous n'en étions éloignés que de 13 milles, & par conséquent nous pourrions y distinguer les mêmes choses, que nous distinguons sur des objets éloignés à la même distance; or sur une montagne, on peut bien voir d'autres montagnes qui en sont éloignées au-delà de 13 mil-

les. Il n'y a donc point de doute, que nous ne découvrissions sur la surface de la lune, quantité de choses dont nous serions bien surpris; mais pour décider si la lune est habitée par des créatures semblables à celles de la terre, une distance de 13 milles est trop grande encore; il faudroit avoir pour cet effet une lunette qui grossit encore 10 fois davantage & par conséquent 40000 fois, dont l'objectif devroit avoir une ouverture de 100 pieds, ce que l'adresse des hommes n'éxécutera jamais. Mais avec une lunette semblable nous verrions la lune comme si elle n'étoit pas plus éloignée de nous que Berlin de Spandau, & de bons yeux pourroient bien y voir des hommes, s'il y en avoit, mais pourtant trop peu distinctement, pour s'en assûrer entiérement.

Comme nous devons nous contenter de souhaits à cet égard, le mien seroit plutôt d'avoir tout d'un tems une lunette qui grossit 100000 fois; la lune se présenteroit alors comme si elle n'étoit éloignée de nous que d'un demi-mille. L'ouverture de l'objectif de cette lunette devroit donc être de 250 pieds, & nous verrions au moins les grosses bêtes qui peuvent être dans la lune.

le 6 Mars 1762.

LET-

LETTRE CCXIII.

La netteté de l'expreſſion eſt un article ſi important dans les qualités d'une lunette, qu'elle ſemble l'emporter ſur tous ceux dont j'ai eu déja l'honneur de rendre compte à V. A., puiſque tout le monde convient qu'une lunette, qui ne repréſente pas nettement les images des objets, eſt fort défectueuſe. J'ai donc à expliquer les raiſons de ce défaut de netteté, afin qu'on puiſſe penſer avec plus de ſuccès aux moyens d'y remèdier.

Elles paroiſſent d'autant plus cachées, que les principes que j'ai établis juſqu'ici n'en découvrent point l'origine: en effet, ce défaut vient de ce qu'un des principes dont je me ſuis ſervi juſqu'ici, n'eſt point vrai à la rigueur, quoiqu'il ne s'écarte que très-peu de la vérité.

V. A. ſe ſouvient que j'ai poſé pour principe, qu'un verre convèxe raſſemble dans un point de l'image tous les rayons qui partent d'un point de l'objet: ſi cela étoit vrai à la rigueur, les images repréſentées par les verres ſeroient auſſi bien terminées que l'objet même, & il n'y auroit point à craindre de défaut à cet égard.

Voici donc en quoi conſiſte la défectuoſité de ce principe; les verres n'ont la propriété que je leur ai ſuppoſée, qu'autour de leur mi-

lieu; les rayons qui passent vers les bords d'un verre se rassemblent dans un autre point que ceux qui passent vers le milieu; quoique tous viennent d'un même point de l'objet, & il en naît deux images diférentes qui troublent la netteté.

Pour mettre cela dans tout son jour, considérons dans *Tab. IX. fig.* 3. le verre convèxe P P, sur l'axe duquel se trouve l'objet E *e*, dont le point E situé dans l'axe, envoye les rayons EN, EM, EA, EM, EN, sur la surface du verre. C'est sur la route de ces rayons changés par la réfraction, qu'il faut fixer notre attention.

I. Le rayon EA, qui passe par le milieu A du verre, n'en souffre aucune réfraction, il continue sa route dans la même direction sur la ligne ABF.

II. Les rayons EM & EM fort proches de celui-là, en souffrent une petite, par laquelle ils se réunissent quelque part en F avec l'axe, où est le lieu de l'image F*f*, dont j'avois parlé dans mes premiers entretiens sur cette matiére.

III. Les rayons E N & E N, qui sont plus éloignés de l'axe EA & qui passent vers les bords NN du verre, souffrent une réfraction un peu diférente, qui les réunit, non dans le point F, mais dans un autre point G plus proche du verre, & ces rayons représenteront une autre image G*g* diférente de la premiére F*f*.

IV. Remarquons bien cette circonſtance particuliére, à laquelle je n'ai pas fait attention auparavant; c'eſt que les rayons qui paſſent par le verre vers ſes bords, repréſentent une autre image G*g*, que ceux qui paſſent par ſon milieu MAM.

V. Si les rayons EN, EN s'éloignoient encore plus du milieu A, & qu'ils paſſaſſent par les extrêmités mêmes P & P du verre, leur réunion s'approcheroit encore davantage du verre, & formeroit une nouvelle image plus proche du verre que G*g*.

VI. V. A. jugera aiſément par-là que la premiére image F*f* qu'on nomme la principale, n'eſt formée que par les rayons qui ſont prêſqu'infiniment proches du milieu A, & que dès que les rayons s'en écartent vers les bords du verre, il ſe forme une image particuliére plus proche du verre, juſqu'à ce que ceux qui paſſent près les bords forment la derniére G*g*.

VII. Donc, tous les rayons qui paſſent par le verre PP, repréſentent une infinité d'images diſpoſées entre F*f* & G*g*, & à chaque diſtance de l'axe la réfraction du verre produit une image particuliére, deſorte que l'eſpace entre F & G eſt rempli d'une file d'images.

VIII. Auſſi cette file d'images eſt-elle nommée la diffuſion de l'image, & quand tous ces rayons entrent enſuite dans quelque œil, il eſt naturel que la viſion en ſoit d'au-

tant plus troublée, que l'espace FG, par lequel l'image est répandue est plus considérable: si cet espace FG se réduisoit à rien, aucune confusion ou défaut de netteté ne seroit à craindre.

IX. Plus les arcs PAP & PBP sont de grandes parties des cercles dont ils sont pris, plus aussi l'espace de diffusion FG est grand; d'où V. A. doit comprendre pourquoi il faut rejetter tous les verres trop épais, où ces arcs, qui forment les faces du verre, sont des parties considérables de cercles; comme dans la *fig.* 4. *Tab. IX.* où les arcs PAP & PBP sont la quatriéme partie de la circonférence entiére, desorte que chacun contient 90 dégrés, ce qui par conséquent produiroit une confusion insupportable.

X. Il faut donc que les arcs qui forment les faces d'un verre, contiennent beaucoup moins de 90 dégrés: s'ils en contenoient 60, la diffusion de l'image seroit encore insupportable. Les auteurs, qui ont écrit sur cette matiére, ne veulent admettre que 30 dégrés tout au plus: & il y en a qui se bornent à 20. On voit un verre semblable dans la *fig.* 5. *Tab. IX.* où les arcs PAP & PBP ne contiennent que 20 dégrés, chacun n'étant que la 18me partie de la circonférence entiére d'où ils sont pris.

XI. Mais si ce verre doit tenir lieu d'objectif dans une lunette, il faut que les arcs PAP & PBP contiennent encore beaucoup moins

de dégrés. Car quoique la diffusion de l'image soit insensible en elle-même, le grossissement la multiplie autant de fois que l'objet même. Ainsi, plus le grossissement est grand, plus le nombre de dégrés que les faces embrassent doit être petit.

XII. Quand la lunette doit grossir 100 fois, V. A. se souvient, que l'ouverture PP de l'objectif doit être de 3 pouces, & sa distance de foyer 360 pouces, qui est égale aux rayons dont les deux arcs PAP & PBP sont décrits; d'où il s'ensuit que chacun de ces deux arcs ne contient qu'un demi-dégré; & c'est la netteté dans l'expression qui éxige une si petite mesure; si l'on vouloit grossir 200 fois, un demi-dégré seroit encore trop; & alors la mesure des arcs ne devroit pas surpasser le tiers d'un dégré. Cependant cet arc doit recevoir une étendue de 6 pouces, ainsi le rayon du cercle doit être d'autant plus grand & par conséquent aussi la distance de foyer. C'est là, véritablement pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si considérablement longues.

le 9 Mars 1762.

LETTRE CCXIV.

LORSQUE l'eſpace de diffuſion d'un verre objectif eſt trop grand, pour que le défaut dans la netteté de l'image qui en réſulte ſoit ſupportable, rien n'eſt plus aiſé que d'y remédier ; on n'a qu'à couvrir le verre d'un cercle de carton, percé d'un trou vers le centre, deſorte que le verre ne puiſſe tranſmettre d'autres rayons, que ceux qui y tombent par le trou, & que ceux qui paſſoient auparavant par les bords du verre en ſoient exclus : car puiſqu'il n'y a que les rayons qui ſoient tranſmis vers le milieu du verre, plus le trou ſera petit plus l'eſpace de diffuſion le ſera : ainſi, en diminuant le trou, on peut rendre l'eſpace de diffuſion auſſi petit qu'on veut.

Il en eſt de même alors que ſi le verre n'étoit pas plus grand que le trou, ainſi la partie couverte par le carton devient inutile, & c'eſt le trou qui détermine l'ouverture du verre : auſſi ſe ſert-on de ce remède pour donner aux verres objectifs autant d'ouverture que l'on juge à propos.

Dans la *fig. 6. Tab. IX.* PP eſt le verre objectif, devant lequel eſt placé le carton NN percé du trou MM, qui eſt l'ouverture du verre. Cette ouverture MM eſt ici à-peu-près la moitié de ce qu'elle ſeroit ſi l'on ôtoit le carton, ainſi l'eſpace de diffuſion eſt beaucoup

plus petit: on remarque que l'espace de diffusion pour ce cas-ci n'est que le quart de celui d'auparavant, un trou MM, qui ne seroit que le tiers de PP, rendroit l'espace de diffusion 9 fois plus petit: ainsi l'effet de ce remède est très-considérable, & pour peu qu'on couvre les bords du verre, l'effet en devient très-sensible.

Si donc une lunette a le défaut que les objets ne paroissent pas assez nets, puisqu'une file d'images qui se confondent ensemble, doit nécessairement produire de la confusion, on n'a qu'à rétrécir l'ouverture du verre objectif par un carton pareil, & cette confusion s'évanouïra infailliblement. Mais on tombe dans le défaut, tout aussi facheux, que le dégré de clarté en est diminué. V. A. se souvient que chaque grossissement éxige une certaine ouverture de l'objectif, afin qu'il y soit transmis autant de rayons qu'il en faut pour nous procurer une clarté suffisante; il est donc bien facheux qu'en rémèdiant à un défaut, on s'expose à un autre; & il faut absolument qu'une bonne lunette fournisse assez de clarté, sans nuire à la netteté, dans la représentation des objets.

Mais n'y auroit-il pas moyen de diminuer, & de réduire même à rien, l'espace de diffusion des verres objectifs, sans en diminuer l'ouverture? Telle est la grande question à laquelle on travaille depuis quelque tems, & dont la solution nous promet les plus grands progrès dans la dioptrique. J'aurai donc l'hon-

neur d'expliquer à V. A. les moyens que les ſavans ont imaginé pour y parvenir.

Comme le foyer des rayons qui paſſent par le milieu d'un verre convèxe, eſt plus éloigné du verre que le foyer des rayons qui paſſent vers les bords, on a remarqué que les verres concaves produiſent un effet contraire ; ce qui a occaſionné de rechercher s'il ne ſeroit pas poſſible de combiner un verre convèxe avec un verre concave, de façon que l'eſpace de diffuſion fut entiérement anéanti ? & que d'ailleurs ce verre compoſé produiſit le même effet qu'un objectif ordinaire ſimple ? V. A. ſait que les verres concaves ſont auſſi bien meſurés par leur diſtance de foyer, que les verres convèxes ; avec cette diférence, que le foyer des concaves n'eſt qu'imaginaire & tombe devant le verre ; pendant que le foyer des verres convèxes eſt réel & tombe derriére eux. Cela remarqué, on raiſonne de la maniére ſuivante.

I. Si l'on place *Tab. IX. fig.* 7. derriére un verre convèxe PAP un verre concave QBQ de la même diſtance de foyer, les rayons que le verre convèxe réuniroit dans ſon foyer, ſeront refractés par le concave, deſorte qu'ils redeviennent paralleles entr'eux, comme ils l'étoient avant que de paſſer par le verre convèxe.

II. Dans ce cas donc, le verre concave détruit l'effet du convèxe, & il en eſt de même que ſi les rayons continuoient leur route natu-

relle, sans avoir éprouvé aucune réfraction. Car le verre concave ayant son foyer au même point F, rétablit dans le parallélisme les rayons qui voudroient concourir au point F.

III. Si la distance de foyer du verre concave étoit plus petite que celle du verre convèxe, il produiroit un plus grand effet, & rendroit les rayons divergens comme dans la *fig.* 8. *Tab. IX.* les rayons incidens paralleles L M, E A, L M passant par les deux verres prennent les routes N O, B F, N O, qui sont divergentes entr'elles. Ces deux verres ensemble produisent donc le même effet qu'un verre concave simple, qui imprimeroit aux rayons incidens paralleles la même divergence. Deux verres pareils joints ensemble, dont le concave a une plus petite distance de foyer que le convèxe, sont donc équivalens à un seul verre concave.

IV. Mais si le verre concave Q Q *Tab. IX. fig.* 9. a une plus grande distance de foyer que le verre convèxe P P; il n'est pas même suffisant de rendre paralleles entr'eux les rayons que le verre convèxe seul réuniroit dans son foyer F: ces rayons demeurent donc convergens, mais leur convergence sera diminuée par le verre concave, ensorte que les rayons au lieu de se réunir en F, se réuniront dans le point O plus éloigné.

V. Ces deux verres joints ensemble produiront donc le même effet qu'un seul verre convèxe simple, qui auroit son foyer en O, puisqu'il

réuniroit les rayons paralleles LM, EA, LM également dans le même point, il est donc clair qu'il est possible de combiner d'une infinité de maniéres, deux verres, l'un convèxe & l'autre concave, desorte que leur combinaison soit équivalente à un verre convèxe donné.

VI. Un tel verre objectif double, pourra donc être employé dans les lunettes, au lieu du simple auquel il est équivalent, & l'effet, par rapport au grossissement, sera tout-à-fait le même. Or l'espace de diffusion sera tout-à-fait diférent, & il peut arriver qu'il soit plus ou moins grand, que celui d'un objectif simple, & dans ce dernier cas, l'objectif double sera bien préférable au simple.

VII. Mais il y a plus; on a trouvé qu'il est possible de faire des arrangemens de deux verres tels, que l'espace de diffusion est tout-à-fait réduit à rien, ce qui est sans-doute le cas le plus avantageux pour la perfection des lunettes. Le calcul nous découvre ces arrangemens, mais les artistes ne sont pas encore assez habiles pour les exécuter.

le 19 Mars 1762.

LETTRE CCXV.

La combinaison de deux verres, dont je viens de donner l'idée à V. A. est nommée objectif composé; le but en est que tous les rayons, tant ceux qui passent par le milieu du verre que par les bords, soient réunis dans un seul point, desorte qu'il ne s'y forme qu'une seule image, sans diffusion, comme dans les objectifs simples. Si les artistes réussissoient à cette construction, on en retireroit les plus grands avantages, comme V. A. le verra.

Il est d'abord évident que la représentation des objets doit être beaucoup plus nette & mieux terminée, puisque la vision n'est plus troublée par l'apparition de cette file d'images, qui occupent l'espace de diffusion, lorsque l'objectif est simple.

Ensuite, puisque cet espace de diffusion est l'unique raison qui nous oblige de donner aux objectifs simples, une si excessive distance de foyer, pour rendre le facheux effet qui en résulte insensible; en employant des objectifs composés, nous ne serons plus réduits à cet expédient incommode, & nous pourrons faire des lunettes incomparablement plus courtes, qui produiront le même grossissement.

Lorsqu'en employant un objectif simple on veut grossir 100 fois, sa distance de foyer ne sauroit être plus petite que de 30 pieds, & la

longueur de la lunette devient encore plus grande à cause du verre oculaire dont la distance de foyer doit être ajoutée ; un moindre objectif produiroit, à cause de son plus grand espace de diffusion, une confusion insupportable. Or une longueur de 30 pieds, non-seulement est très-incommode, mais les artistes réussissent rarement à former des verres d'une si grande distance de foyer. V. A. en sentira bien la raison, puisque le rayon des faces de ce verre doit être aussi de 30 pieds, & qu'il est très-difficile de décrire exactement un si grand cercle, où la moindre aberration rend le travail inutile.

Ces accidens ne sont pas à craindre dans la construction des verres objectifs composés, qui peuvent être formés de plus petits cercles ; pourvu qu'ils soient susceptibles de l'ouverture que le grossissement exige. Ainsi, pour grossir 100 fois, nous avons vu que l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces : or on pourra bien construire un objectif composé, dont la distance de foyer ne seroit que de 100 pouces, & qui admettroit une ouverture de plus de 3 pouces : donc, puisque la distance de foyer de l'oculaire doit être 100 fois plus petite, elle seroit d'un pouce ; & l'intervalle entre les verres devant être la somme de leurs distances de foyer, la longueur de la lunette ne seroit que 101 pouces, qui sont 8 pieds & 5 pouces, bien plus petite que celle de 30 pieds.

Mais il ſemble qu'un objet compoſé, dont le foyer ſeroit à 50 pouces, pourroit bien admettre encore une ouverture de 3 pouces & même au-delà; prenant donc l'oculaire d'un demi-pouce de foyer, on obtiendra le même groſſiſſement de 100 fois, & la longueur de la lunette ſeroit réduite à la moitié, c'eſt-à-dire, à 4 pieds & près de 3 pouces. Une telle lunette produiroit donc le même effet qu'une ordinaire de 30 pieds, ce qui eſt ſûrement le plus grand avantage qu'on puiſſe ſouhaiter.

Si un tel objectif compoſé réuſſiſſoit, on n'auroit qu'à doubler toutes les meſures, pour en avoir un qui admit une ouverture de 6 pouces, & celui-ci pourroit être employé à groſſir 200 fois, en ſe ſervant d'un oculaire de demi-pouce de foyer, comme la deux-centiéme partie de la diſtance de foyer de l'objectif, qui ſeroit dans ce cas de 100 pouces. Or une lunette ordinaire qui groſſit 200 fois, ſurpaſſe la longueur de 100 pieds; pendant que celle qui eſt faite avec un objectif compoſé, ne contient qu'environ 8 pieds, & peut être employée très-commodément dans la pratique, au lieu qu'une lunette de 100 pieds eſt un fardeau prèſqu'entiérement inutile.

On pourroit pouſſer la choſe beaucoup plus loin encore, & doubler même les meſures, pour avoir un objectif compoſé, dont la diſtance de foyer fut de 200 pouces ou de 16 pieds & 8 pouces, qui admit une ouverture de 12 pouces ou d'un pied; prenant alors un ocu-

laire d'un demi-pouce de foyer, puiſque 200 pouces contiennent 400 demi-pouces, on aura une lunette qui groſſira 400 fois, & qui ſera encore très-bien traitable, étant au-deſſous de 17 pieds, pendant que ſi l'on vouloit produire le même groſſiſſement par un verre objectif ſimple, la longueur de la lunette devroit ſurpaſſer 300 pieds, & ne ſeroit certainement d'aucun uſage, à cauſe de ſa prodigieuſe longueur.

On a à Paris une lunette de 120 pieds & à Londres une de 130, mais les terribles difficultés de les monter & de les diriger, anéantiſſent preſque les avantages qu'on s'en étoit promis. V. A. en conclurra, combien il ſeroit important, que l'on réuſſit dans la conſtruction des objectifs compoſés dont je viens de parler. J'en avois donné les prémiéres idées, il y a pluſieurs années; & depuis ce tems les plus habiles artiſtes en Angleterre & en France travaillent à les éxécuter; la choſe demande bien des eſſais & une grande adreſſe de la part de l'ouvrier; & quoique j'aye fait faire par le machiniſte de notre académie quelques heureux eſſais, les dépenſes d'une telle entrepriſe m'ont obligé d'y renoncer.

Mais la ſociété des ſciences à Londres a annoncé l'année paſſée qu'un très-habile artiſte, nommé Dollond, en étoit venu heureuſement à bout; & maintenant on admire par-tout ſes lunettes. Un autre habile artiſte de Paris, nommé Paſſement, ſe vante d'un ſuccès pareil;

l'un & l'autre me faifoit l'honneur, autrefois, d'entretenir une correfpondance avec moi fur cette matiére; mais comme il s'agiffoit principalement de furmonter de grands obftacles dans la pratique, ce dont je ne m'étois jamais mêlé, il eft bien jufte que je leur abandonne la gloire de la découverte: ce n'eft que la partie théorétique qui m'appartient, & qui m'a couté des recherches bien profondes & des calculs très-peinibles, dont la vue feule éfrayeroit V. A.; ainfi je me garderai bien de l'entretenir fur cette matiére épineufe.

le 16 Mars 1762.

LETTRE CCXVI.

Pour donner à V. A. quelqu'idée des recherches qui m'ont conduit à la conftruction des objectifs compofés, je dois commencer par la formation des verres fimples.

Remarquons d'abord que les deux faces d'un verre peuvent être formées d'une infinité de maniéres diférentes, en prenant les cercles, dont les faces font des parties, ou égaux ou inégaux entr'eux, deforte pourtant que la diftance de foyer demeure toujours la même.

On donne ordinairement aux deux faces d'un verre la même figure, ou comme on repréfente les faces des verres par des arcs de cercles,

on fait les deux faces des rayons égaux entr'eux. La commodité dans l'éxécution a sans-doute recommandé cette figure, puisqu'on peut se servir du même bassin pour former l'une & l'autre face, & que la plûpart des ouvriers n'est pourvue que d'un petit nombre de bassins.

Supposons donc un verre convèxe, dont les deux faces soient travaillées sur un même bassin de 24 pouces de rayon, desorte que chaque face soit un arc de cercle dont le rayon soit de 24 pouces, ce verre sera convèxe des deux côtés, & il aura son foyer à la distance de 24 pouces, comme on l'estime communément; mais comme le foyer dépend de la réfraction, & que la réfraction n'est absolument pas la même dans toutes les espèces de verres, où se trouve une diversité assez considérable selon que le verre est plus ou moins blanc & dur; cette estime du foyer n'est pas juste à la rigueur, & ordinairement la distance du foyer du verre est un peu moindre que le rayon de ses deux faces, tantôt de la dixiéme partie, tantôt de la douziéme; ainsi le verre que je viens de supposer, & dont les rayons de chaque face sont de 24 pouces, aura son foyer à une distance d'environ 22 pouces, s'il est travaillé de la même sorte de verre dont on fait communément les miroirs: quoiqu'on rencontre aussi dans cette espèce de verres une petite diversité par rapport à la réfraction.

Nous voyons ensuite qu'en faisant les deux faces du verre inégales, on peut former une infinité

infinité d'autres verres, qui ont tous la même distance de foyer : car, en prenant le rayon d'une face plns petit que 24 pouces, on prendra celui de l'autre face d'autant plus grand, selon une certaine proportion ; on peut toujours prendre le rayon d'une face à volonté, & trouver par le moyen d'une certaine règle le rayon de l'autre, afin que la distance de foyer devienne la même que si chaque face avoit 24 pouces de rayon. La table suivante offre plusieurs verres pareils, qui ont tous la même distance de foyer.

Verres	Rayons de la I[ere] face.	Rayons de la II[de] face.
I.	24	24
II.	21	28
III.	20	30
IV.	18	36
V.	16	48
VI.	15	60
VII.	14	84
VIII.	13	156
IX.	12	infini

Dans la derniére forme le rayon d'une face n'est que de 12 pouces, ou la moitié de 24 pouces, mais

celui de l'autre devient infini, ou plutôt, cette face eſt un arc de cercle infiniment grand; & comme un tel arc ne difère plus d'une ligne droite, cette face ſera plane, & ce verre plano-convèxe.

Si nous voulions prendre le rayon d'une face encore plus petit que de 12 pouces, l'autre face doit être faite concave, & le verre deviendra convèxo-concave; il portera alors le nom de meniſque dont voici pluſieurs figures.

Meniſque	Rayon de la face convèxe	Rayon de la face concave.
X.	11	132
XI.	10	60
XII.	9	36
XIII.	8	24
XIV.	6	12
XV.	4	6
XVI.	3	4

Voilà donc encore une nouvelle eſpèce de verres, dont la dernière eſt repréſentée dans la *fig.* 11. *Tab. IX.* deſorte que nous en avons ici 16 eſpèces diférentes, qui ont toutes leurs foyers à la même diſtance, qui ſera environ de 22 pouces, un peu plus ou moins, ſelon la nature du verre.

Quand donc il n'est question que de la distance de foyer que le verre doit avoir, il est indiférent selon quelle de ces formes on veuille le travailler: mais il s'y trouve une très-grande diférence dans l'espace de diffusion, auquel chaque espèce est assujettie, cet espace devenant plus petit dans les unes que dans les autres. Quand on veut employer un verre objectif simple, comme à l'ordinaire, il n'est plus indiférent de quelle espèce on tire sa figure, & celle qui produit le plus petit espace de diffusion est à préférer. Or cette belle propriété ne convient pas à la premiére espèce, où les deux faces sont égales, mais à-peu-près à la VII. espèce, qui est douée de la prérogative, que lorsqu'on tourne vers l'objet sa face la plus convèxe, ou celle dont le rayon est plus petit, l'espace de diffusion se trouve environ de la moitié plus petit que si le verre étoit également convèxe des deux côtés; c'est donc la figure la plus avantageuse aux verres objectifs simples, aussi les praticiens sont-ils d'accord là-dessus.

Il est donc clair que pour juger de l'espace de diffusion d'un verre, il ne suffit pas d'en connoître la distance de foyer; il faut savoir son espèce, c'est-à-dire, les rayons de chaque face, & bien distinguer laquelle est tournée vers l'objet.

Remarquez, après cette explication, que pour chercher la combinaison de deux verres qui ne produisent aucune diffusion d'image, il faut absolument tenir compte de la figure des deux

faces de chaque verre, & qu'on a ce problême à résoudre, *quels doivent être les rayons des faces des deux verres, afin que l'espace de diffusion soit réduit à rien?* La solution demande les plus profondes recherches de la plus sublime géométrie; & après en être venu à bout, l'artiste trouve encore bien des difficultés à surmonter; il faut qu'il donne aux bassins la même courbure précisément que le calcul a enseigné, & cela n'est pas suffisant encore, car pendant qu'on travaille le verre sur le bassin pour qu'il en prenne la figure, le bassin même en souffre à son tour; on est donc obligé de rectifier sa figure de tems-en-tems, avec la plus grande justesse, car dès qu'on manque à toutes ces précautions, on ne sauroit se promettre un heureux succès; aussi est-il bien difficile d'empêcher que le verre ne prenne une figure un peu diférente de celle du bassin; d'où V. A. jugera combien il doit être difficile de porter à la perfection cet important article de la dioptrique.

le 20 Mars 1762.

LETTRE CCXVII.

V. A. vient de voir de quelle maniére on doit remèdier à l'inconvénient des rayons qui, passant par les bords d'un verre, ne se réunissent pas dans le même point où sont réunis ceux

qui passent par son milieu, tellement qu'il en naît une infinité d'images dispersées par l'espace de diffusion. Mais cet inconvénient n'est pas seul, il en est encore un autre, d'autant plus important, qu'il semble impossible d'y remédier, parceque la cause ne se trouve pas dans le verre, mais dans la nature des rayons mêmes.

V. A. se souvient qu'il règne une grande variété dans les rayons, par rapport aux diverses couleurs dont ils nous impriment le sentiment; j'ai comparé cette diversité avec celle qu'on trouve dans les tons; ayant établi pour principe, que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations. Mais quand cette explication paroîtroit encore douteuse, il reste très-sûr que les rayons des diverses couleurs souffrent aussi des réfractions diférentes, en passant d'un milieu transparent dans un autre; ainsi les rayons rouges souffrent la plus petite réfraction, & les violets la plus grande, quoique la diférence soit presque imperceptible. Or toutes les autres couleurs comme l'orange, le jaune, le verd, & le bleu, sont contenues, à l'égard de la réfraction, entre ces deux limites. Il faut aussi remarquer que le blanc est un mêlange de toutes ces couleurs, qui, par la réfraction, se séparent les unes des autres.

En effet quand, *Tab. IX. fig.* 12. on fait tomber obliquement un rayon blanc OP, ou un rayon du soleil, sur un morceau de verre

ABCD, au lieu de continuer ſa route ſuivant ſa direction PQ, non-ſeulement il en eſt détourné, mais il ſe partage encore en pluſieurs rayons *Pr*, *Ps*, *Pt*, *Pv*, dont le premier *Pr*, qui eſt le moins détourné, repréſente la couleur rouge, & le dernier *Pv*, qui eſt le plus détourné, la couleur violette; la diſperſion *rv* eſt bien plus petite que ne le repréſente la figure, cependant leur divergence devient toujours plus ſenſible.

De cette diférente réfrangibilité des rayons, ſelon leurs diverſes couleurs, naiſſent les phénomènes ſuivans, par rapport aux verres dioptriques.

I. Soit PP *Tab. IX. fig.* 13. un verre convèxe, ſur l'axe OR duquel ſe trouve, dans un très-grand éloignement AO, l'objet O*o*, dont il s'agit de déterminer l'image repréſentée par le verre, en faiſant ici abſtraction de la premiére irrégularité qui regarde la diffuſion, ou, ce qui revient au même, en ne conſidérant ici que les rayons qui paſſent par le milieu du verre AB, comme ſi ſes bords étoient couverts d'un carton.

II. Suppoſons maintenant que l'objet O*o* ſoit rouge, deſorte que tous ſes rayons ſoient de la même nature, le verre en repréſentera quelque part l'image R*r* également rouge; on nomme alors le point R, le foyer des rayons rouges, ou de ceux qui ſouffrent la moindre réfraction.

III. Mais si l'objet O*o* est violet, puisque les rayons de cette couleur souffrent la plus grande réfraction, l'image V*v* sera plus proche du verre, que la précédente R*r*; ce point V est nommé le foyer des rayons violets.

IV. Si l'objet étoit teint de quelqu'autre couleur, mitoyenne entre la rouge & la violette, l'image tomberoit entre les lieux R & V, seroit toujours bien nette, & terminée par la droite *o*B tirée de l'extrêmité de l'objet *o* par le milieu du verre, cette règle étant générale pour toutes les couleurs.

V. Mais si la couleur de l'objet n'est pas pure, comme il arrive dans prèsque tous les corps; ou que l'objet O*o* fut blanc, ce qui est un mèlange de toutes les couleurs, les diverses espèces de rayons sont alors séparées par la réfraction, & chacune représentera une image à part. Celle qui est formée par les rayons rouges, se trouvera en R*r*; & celle qui l'est par les rayons violets, en V*v*; & tout l'espace RV sera rempli par les images des couleurs moyennes.

VI. Le verre PP représentera donc une infinité d'images de chaque objet O*o*, disposées par le petit espace RV, dont la plus éloignée du verre R*r* est rouge & la plus proche V*v* violette, & les moyennes, des couleurs moyennes; selon l'ordre des couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel.

VII. Chacune de ces images sera bien nette

en elle-même, & toutes, terminées par la ligne droite $oBvr$, tirée de l'extrêmité de l'objet o par le milieu du verre B: mais elles ne sauroient être vues ensemble sans une confusion assez sensible.

VIII. Il en nait donc un espace de diffusion comme dans la premiére irrégularité, mais qui en difère en ce que celui-ci est indépendant de l'ouverture du verre, & que chaque image est teinte d'une couleur particuliére.

IX. Cet espace de diffusion RV, dépend de la distance de foyer du verre, desorte qu'il en est toujours environ la vingt-huitiéme partie; quand donc la distance de foyer du verre PP est de 28 pieds, l'espace RV devient égal à un pied entier, ou bien, la distance entre l'image rouge Rr & la violette Vv, est d'un pied. Si la distance de foyer étoit deux fois plus grande ou de 56 pieds, l'espace RV seroit de 2 pieds & ainsi des autres.

X. De-là l'estime de la distance de foyer d'un verre devient incertaine, puisque les rayons de chaque couleur ont leur foyer à part: & quand on parle du foyer d'un verre, il faudroit toujours s'expliquer de quelle couleur on l'entend. Mais on l'entend communément des rayons d'une nature moyenne entre le rouge & le violet, & qui répond à la couleur verte.

XI. Ainsi quand on dit sans s'expliquer da-

vantage, que la distance de foyer de tel verre est de 56 pieds, il faut entendre que c'est l'image verte qui tombe à cette distance ; l'image rouge tombera environ d'un pied plus loin & la violette d'un pied plus près.

Voilà donc une nouvelle circonstance bien essentielle, à laquelle il faut avoir égard dans les instrumens dioptriques.

le 23 Mars 1762.

LETTRE CCXVIII.

Il faut bien distinguer cette nouvelle diffusion, ou multiplication de l'image, qui vient de la diverse réfrangibilité des rayons, en ce qu'ils font de diférentes couleurs, de la précédente qui provenoit de l'ouverture du verre, & de ce que les rayons qui passent près des bords, forment une autre image que ceux qui passent par son milieu. Aussi faut-il remédier à ce nouvel inconvénient diféremment qu'au premier.

V. A. voudra bien se souvenir que j'ai proposé deux moyens pour remédier à l'inconvénient précédent ; l'un consistoit dans l'aggrandissement de la distance de foyer, pour diminuer la courbure des faces du verre ; ce remède nous conduisoit à des lunettes extrê-

mement longues, lorſqu'on ſouhaitoit un grand groſſiſſement. L'autre requéroit la combinaiſon de deux verres, l'un convêxe & l'autre concave, pour tempérer la réfraction, de façon que tous les rayons tranſmis par ces verres ſe réuniſſent dans le même point, & que l'eſpace de diffuſion fût reduit à rien.

Mais ni l'un ni l'autre de ces remèdes n'apporte du ſecours à l'inconvénient cauſé par la diférente réfrangibilité des rayons. Le premier produit même un effet tout contraire, puiſque, plus on augmente la diſtance de foyer du verre, plus l'eſpace par lequel les images colorées ſont diſperſées devient conſidérable: la combinaiſon de deux, ou pluſieurs verres, n'eſt encore d'aucun ſecours, & on a trouvé par l'expérience & la théorie, que les images de diférentes couleurs demeurent toujours ſéparées, quelque grand que ſoit le nombre des verres par leſquels on fait paſſer les rayons, & que, plus la lunette doit groſſir, & plus la diférence augmente.

Cette circonſtance éfraya tellement le grand Newton, qu'il a déſeſpéré de remèdier à ce défaut, qu'il croyoit abſolument inſéparable des inſtrumens dioptriques, où la viſion ſe fait par des rayons réfractés. C'eſt pourquoi il prit le parti de renoncer entiérement à la réfraction, & d'employer des miroirs au lieu de verres objectifs, puiſque la réflèxion eſt toujours la même pour tous les rayons; c'eſt cette idée qui nous a procuré ces excellens té-

lescopes à réflexion, dont on admire les effets surprenans, & dont je parlerai une autre fois, quand j'aurai rapporté tout ce qui regarde les instrumens à réfraction.

Lorsque j'ai été convaincu qu'il étoit impossible de remèdier à la diverse réfrangibilité des rayons, par la combinaison de plusieurs verres, j'ai remarqué que la raison en est fondée sur la loi de réfraction, qui est la même dans toutes les espèces de verres; & je me suis apperçu, que si l'on pouvoit employer d'autres matiéres transparentes, dont la réfraction fut considérablement diférente de celle du verre, il seroit bien possible de la combiner avec le verre, desorte que tous les rayons se réunissent à former une seule image, sans qu'il y eut d'espace de diffusion. Ayant poursuivi cette idée, j'ai trouvé moyen de composer des objectifs de verre & d'eau tout-à-fait éxemts de l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, qui, par conséquent, devroient produire un effet aussi bon que les miroirs.

J'ai éxécuté cette idée par deux ménisques, ou verres concavo-convèxes *Tab. IX. fig.* 14. dont l'un est AACC & l'autre BBCC, que j'ai joints ensemble par leurs faces concaves, en remplissant d'eau le vuide qui restoit entr'elles, desorte que les rayons qui sont entrés par le verre AACC doivent traverser l'eau contenue entre les deux verres, avant de sortir par CCBB. Chaque rayon souffre donc quatre ré-

fractions, la premiére en entrant de l'air dans le verre AACC, la seconde en passant de ce verre dans l'eau, la troisiéme en passant de l'autre verre CCBB, la quatriéme en sortant de ce verre dans l'air.

Comme les quatre faces de ces deux verres entrent ici en considération, j'ai trouvé moyen d'en déterminer les demi-diamètres, ensorte que, de quelle couleur que soit un rayon de lumiére, après avoir souffert ces quatre réfractions, il se réunisse dans le même point, & que la diverse réfrangibilité ne produise plus de diverses images.

Ces objectifs composés de deux verres & d'eau, tomboient d'abord trop dans le premier inconvénient, où les rayons qui passent près des bords forment un autre foyer que ceux qui passent par le milieu, mais après des recherches bien peinibles, j'ai trouvé moyen de proportionner les rayons des quatre faces, de façon que ces objectifs composés dussent être délivrés tout-à-la-fois des inconvéniens de l'une & de l'autre classe. Mais il falloit exécuter si exactement pour cela toutes les mesures prescrites par le calcul, que la moindre aberration faisoit échouer tous les avantages qu'on en attendoit, desorte que je ne voulus plus insister sur la construction de ces objectifs.

D'ailleurs ce projet ne remèdieroit qu'aux inconvéniens qui sont à craindre de la part du verre objectif, & le verre oculaire ne manqueroit pas de produire aussi un effet fâ-

cheux, auquel il eſt impoſſible de remédier de la même maniére. On ſe ſert ſouvent de pluſieurs oculaires, pour conſtruire des lunettes, comme je l'expliquerai dans la ſuite, ainſi qu'on ne gagneroit pas grand-choſe ſi l'on s'arrêtoit trop ſcrupuleuſement à un ſeul objectif, en négligeant les autres verres, quoique leur effet ſoit peu ſenſible rélativement à celui de l'objectif.

Mais quelques peines que m'ayent couté ces recherches, je dois avouer franchement, que je renonce entiérement à préſent à la conſtruction des objectifs composés de verres & d'eau; tant à cauſe de leur éxécution trop difficile, que parceque j'ai découvert depuis d'autres moyens, non pas de détruire l'effet de la diverſe réfrangibilité des rayons, mais de le rendre inſenſible. J'aurai l'honneur d'entretenir V. A. là-deſſus l'ordinaire prochain.

le 27 *Mars* 1762.

LETTRE CCXIX.

Lorsque les téleſcopes à réflèxion ſont venus en vogue, on a tellement décrié les lunettes à réfraction, qu'on devoit croire qu'elles n'auroient plus d'autre ſort que d'être rejettées entiérement. Auſſi a-t-on dès lors négligé tout-à-fait leur conſtruction, dans

la ferme perſuaſion que tous les ſoins qu'on ſe donneroit pour les perfectionner, ſeroient inutiles, puiſque le grand Newton avoit démontré, que les effets fâcheux de la diverſe réfrangibilité des rayons, étoient abſolument inſéparables de la conſtruction des lunettes.

Suivant ce ſentiment, aucunes lunettes ne ſauroient nous repréſenter les objets qu'avec une confuſion d'autant plus inſupportable, que le groſſiſſement ſeroit plus grand. Cependant, quoiqu'on trouve des lunettes extrêmement défectueuſes à cet égard, on en trouve auſſi quelquefois de très-bonnes, qui ne cèdent en rien aux téleſcopes à réflèxion tant vantés. C'eſt ſans-doute un très-grand paradoxe ; car ſi ce défaut étoit bien fondé, on ne devroit en trouver aucune qui en fût éxemte : par conſéquent cette exception dont l'expérience nous aſſûre, mérite toute notre attention.

Il s'agit donc d'aprofondir, pourquoi quelques lunettes repréſentent aſſez nettement les objets, & que d'autres ne ſont que trop aſſujetties au défaut cauſé par la diférente réfrangibilité des rayons. Je crois en avoir découvert la raiſon & je vais la propoſer à V. A. par les réflèxions ſuivantes.

I. Il eſt très-certain que le verre objectif repréſente une infinité d'images de chaque objet, qui ſe trouvent toutes rangées ſur l'eſpace de diffuſion, & dont chacune

eſt teinte de ſa propre couleur, comme je l'ai prouvé dans ma lettre précédente.

II. Chacune de ces images devient un objet par rapport au verre oculaire, qui repréſente chacune ſéparément avec la couleur qui lui eſt propre, deſorte que l'œil découvre par la lunette une infinité d'images diſpoſées dans un certain ordre, ſelon la réfraction des verres.

III. Et ſi, au lieu d'un verre oculaire, on en employe pluſieurs, il arrivera toujours la même choſe, & au lieu d'une image, la lunette en repréſentera une infinité à l'œil, ou bien une file d'images, dont chacune exprime à part l'objet, mais d'une couleur particuliére.

IV. Conſidérons donc *Tab. IX. fig.* 15. les derniéres images que la lunette offre à l'œil placé en O; & ſoit R*r* l'image rouge, & V*v* la violette, celles des autres couleurs ſe trouvant entre ces deux ſelon l'ordre de leur diférente réfrangibilité. Je n'ai pas indiqué dans cette figure les verres de la lunette, puiſqu'il s'agit uniquement de quelle maniére l'œil voit les images. Il faut ſeulement enviſager la diſtance de l'œil O juſques à elles comme très-grande.

V. Toutes ces images R*r* & V*v* avec les moyennes, ſont donc ſituées ſur l'axe de la lunette ORV, & terminées par une certaine ligne droite *rv*, qui eſt nommée la terminatrice de toutes les images.

VI. Comme j'ai représenté ces images dans la figure, l'image rouge Rr est vue par l'œil en O sous l'angle ROr, qui est plus grand que l'angle VOv, sous lequel est vue l'image violette Vv. Les rayons violets qui entrent de l'image Vv, dans l'œil, se mêlent donc avec les rouges qui viennent de la partie Rr de l'image rouge Rr.

VII. Par conséquent, l'œil ne sauroit voir l'image violette sans un mêlange de rayons d'autres couleurs, mais qui répondent à diférens points de l'objet même, ainsi le point n de l'image rouge est confondu dans l'œil avec l'extrêmité v de l'image violette, d'où doit naître une grande confusion.

VIII. Or le rayon rO n'étant point mêlé par d'autres, l'extrêmité vue paroîtra rouge; ou bien l'image semblera bordée de rouge qui se mêle ensuite avec les autres couleurs successivement; desorte que l'objet paroîtra bordé des couleurs d'iris, ce qui est un défaut très commun dans les lunettes, auquel cependant quelques-unes sont moins sujettes que d'autres.

IX. Si la plus grande image Rr étoit la violette & Vv la rouge, la confusion seroit également insupportable, avec cette seule diférence, que les extrêmités de l'objet paroîtroient alors bordées de violet au lieu de rouge.

X. La confusion dépend donc de la position de la droite terminatrice rv par rapport à la

la ligne VO, & la diverſité qui peut y avoir lieu; il en résultera que la confuſion ſera tantôt plus grande, tantôt plus petite.

XI. Conſidérons maintenant le cas, où les derniéres images repréſentées par la lunette ſont tellement arrangées que la droite terminatrice *vr* étant prolongée, paſſe préciſément dans l'œil. Alors l'œil verra *Tab. IX. fig.* 16. par un ſeul rayon *vr*O toutes les extrèmités des images; & en général, tous les points qui répondent à un même point de l'objet, ſeront portés dans l'œil par un ſeul rayon; & par conſéquent ils y ſeront repréſentés diſtinctement.

XII. Voilà donc le cas, où il peut arriver que, non-obſtant la diverſité des images, l'œil voie l'objet diſtinctement, ſans que diverſes parties en ſoient confondues enſemble, comme il eſt arrivé dans le précédent. Cet avantage a donc lieu, lorſque la ligne terminatrice *vr* étant prolongée, paſſe par le lieu de l'œil O.

XIII. Comme l'arrangement des derniéres images R*r* & V*v* dépend de la diſpoſition des verres oculaires, pour délivrer les lunettes du défaut qu'on leur reproche, il ne s'agit que d'arranger ces verres, enſorte que la ligne terminatrice des derniéres images *vr* paſſe par l'œil; & les lunettes auxquelles cela arrive, ſeront toujours excellentes.

le 30 *Mars* 1762.

LETTRE CCXX.

En raſſemblant ce que j'ai expliqué juſqu'ici, V. A. conviendra aiſément, que c'eſt une choſe bien rare & très-précieuſe qu'une lunette excellente à tous égards, & qui ne ſoit aſſujettie à aucun défaut; puiſqu'il faut avoir égard à tant de circonſtances, dont chacune influe très-eſſentiellement ſur la conſtruction des bonnes; comme le nombre des bonnes qualités eſt conſidérable, afin qu'aucune n'échape à notre attention, il ſera bon de les mettre ici toutes à la fois devant les yeux de V. A.

I. La premiére qualité regarde le groſſiſſement, & plus une lunette groſſit les objets, plus elle eſt ſans-doute parfaite, pourvû qu'aucune des autres bonnes qualités n'y manque. Or le groſſiſſement ſe juge par le nombre de fois que le diamètre des objets paroît plus grand qu'à la vue ſimple: V. A. ſe ſouviendra que cela arrive autant de fois dans les lunettes à deux verres, que la diſtance de foyer du verre objectif ſurpaſſe celle de l'oculaire. Dans les lunettes à pluſieurs verres ce jugement eſt plus embarraſſé.

II. La ſeconde qualité d'une bonne lunette eſt la clarté. Elle eſt toujours fort défectueuſe, lorſqu'elle repréſente les objets obſcurément,

& comme dans un brouillard. Pour éviter cet inconvénient, il faut que le verre objectif ait une ouverture suffisante, dont la mésure se règle sur le grossissement. Les artistes ont déterminé que, pour grossir 300 fois, le diamètre de l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces & pour tout autre grossissement à proportion. Or lorsque les objets ne sont pas fort lumineux d'eux-mêmes, il est bon de donner à l'objectif une plus grande ouverture encore.

III. La troisiéme qualité consiste dans la distinction ou netteté de la représentation. Il faut pour cela que les rayons qui passent par les bords de l'objectif, se réunissent au même point que ceux qui passent par le milieu, ou que du moins l'aberration ne soit pas sensible. Quand on se sert d'un objectif simple, il faut que sa distance de foyer surpasse une certaine limite, qui se rapporte au grossissement. Ainsi quand on veut grossir 100 fois, il faut que la distance de foyer de l'objectif soit de 30 pieds au moins; desorte que c'est la distinction qui nous impose la nécessité de faire des lunettes si excessivement longues, lorsqu'on demande un très-grand grossissement. Or pour remédier à cet inconvénient, on peut se servir d'un objectif composé de deux verres, & si les artistes réussissoient dans leur construction, on seroit en état de racourcir les lunettes très-considérablement pour le même

grossissement. V. A. voudra bien se souvenir à cet égard de ce que j'ai eu l'honneur de dire fort au long sur ce sujet.

IV. La quatriéme qualité regarde aussi la netteté ou la pureté de la répréſentation, entant qu'elle est troublée par la diverse réfrangibilité des rayons de diférentes couleurs. J'ai fait voir de quelle maniére il est possible de remédier à cet inconvénient; & comme il est impossible que les images formées par les diférens rayons soient réunies dans une seule, il s'agit d'arranger les verres de la maniére que j'ai expliquée dans ma lettre précédente, c'est-à-dire, que la ligne terminatrice des derniéres images, passe par l'œil. Sans quoi la lunette aura le défaut de représenter les objets environnés des couleurs d'iris, & ce défaut s'évanouït quand on arrange les verres de la maniére démontrée. Or il faut pour cet effet employer plus de deux verres, afin de pouvoir les arranger comme il faut. Je n'ai parlé jusqu'ici que des lunettes composées de deux verres, dont l'un est l'objectif & l'autre l'oculaire, & V. A. sait que leur éloignement est déja déterminé par les distances des foyers, desorte qu'on n'est plus maître d'y rien changer. Cependant il arrive, heureusement, que la ligne terminatrice, dont j'ai parlé, passe à-peu-près par le lieu de l'œil, desorte que le défaut des couleurs d'iris est prèsque insensible,

pourvu qu'on ait rémédié au défaut précédent, sur-tout quand le grossissement n'est pas très-grand. Mais, dans les grossissemens considérables, il est bon d'employer deux verres oculaires, pour anéantir entiérement les couleurs d'iris; puisque, dans ce cas, les moindres défauts étant également grossis, deviennent insupportables.

V. La cinquiéme & derniére bonne qualité des lunettes, est un grand champ apparent, soit l'espace que la lunette nous découvre à la fois. V. A. se souvient que les petites lorgnettes de poche, à un oculaire concave, ont le défaut d'un champ trop petit, qui les rend incapables de grossir beaucoup. L'autre espèce à oculaire convèxe, est moins sujette à ce défaut, mais comme elle représente les objets renversés, les lunettes de la premiére espèce seroient bien préférables, si elles nous découvroient un plus grand champ, qui dépend de l'ouverture du verre oculaire; & V. A. comprend assez qu'on ne sauroit augmenter cette ouverture à volonté, puisqu'elle est déterminée par sa distance de foyer. Or en employant deux ou trois ou même plusieurs verres oculaires, on a trouvé moyen de rendre le champ apparent plus grand; & c'est une nouvelle raison d'employer plusieurs verres, pour construire des lunettes qui soient bonnes à tous égards.

A ces bonnes qualités, on pourroit encore

ajouter celle-ci, que la représentation ne soit pas renversée, comme dans les lunettes astronomiques: mais il est aisé de rémédier à ce défaut, si c'en est un, en ajoutant encore deux verres oculaires comme je l'exposerai dans ma première lettre.

le 3 Avril 1762.

LETTRE CCXXI.

Je me suis arrêté bien long-tems aux lunettes composées de deux verres convèxes, qui sont connues sous le nom de tubes astronomiques, parcequ'on s'en sert communément pour observer les étoiles.

V. A. comprendra aisément que l'usage de ces instrumens, quelqu'excellens qu'ils soient, se borne uniquement au ciel, parcequ'ils représentent les objets dans une situation renversée, ce qui devient fort désagréable lorsqu'on veut contempler des objets terrestres, que nous voudrions voir dans leur situation naturelle; mais après la découverte de cette espèce de lunettes, on a bien vîte trouvé moyen d'y rémédier, en doublant, pour ainsi dire, la même lunette. Car puisque deux verres renversent les objets, ou représentent leurs images renversées, en joignant une lunette pareille à celle-ci pour regarder les mêmes images, elles seront renversées encore une fois, & cette seconde représen-

tation nous offrira les objets debout. De-là naît une nouvelle eſpèce de lunettes, compoſées de quatre verres, qu'on nomme lunettes terreſtres, puiſqu'elles ſont deſtinées à contempler les objets terreſtres. Voici leur conſtruction, *Tab. IX. fig.* 10.

I. Les quatre verres A, B, C, D, enchaſſés dans le tuyau MMNN repréſentent la lunette en queſtion, dont le premier A dirigé vers les objets eſt nommé l'objectif, & les trois autres B, C, D, les oculaires. Ces quatre verres ſont convèxes, & l'œil doit être placé au bout du tuyau à une certaine diſtance du dernier oculaire D, dont j'expliquerai la détermination dans la ſuite.

II. Conſidérons les effets que chaque verre doit produire, quand l'objet O*o*, qu'on regarde par la lunette, ſe trouve à une diſtance fort grande; le verre objectif repréſentera d'abord l'image de cet objet en P*p* à la diſtance de ſon foyer, dont la grandeur eſt déterminée par la ligne droite tirée de l'extrèmité *o*, par le milieu du verre A; cette ligne n'eſt pas exprimée dans la figure, pour ne pas trop la charger de lignes.

III. Cette image P*p* tient lieu de l'objet par rapport au ſecond verre B, qu'on place de maniére que l'intervalle BP ſoit égal à ſa diſtance de foyer; afin que la ſeconde image en ſoit tranſportée à l'infini comme en Q*q*, qui ſera renverſée comme la premiére

P *p*, & terminée par la ligne droite tirée du milieu du verre B, par l'extrêmité *p*.

IV. L'intervalle entre ces deux premiers verres AB, est donc égal à la somme de leurs distances de foyer; & si l'on tenoit l'œil derriére le verre B on auroit une lunette astronomique par laquelle on verroit l'objet O *o* en Q *q*, & conséquemment renversé & grossi autant de fois, que la distance AP surpasse la distance BP. Mais au lieu de l'œil, on place derriére le verre B, à quelque distance, le troisiéme verre C, par rapport auquel l'image Q *q* tient lieu de l'objet, puisqu'il reçoit effectivement les rayons de cette image Q *q*, qui se trouvant à une très-grande distance, le verre C en représentera l'image à sa distance de foyer en R *r*.

V. L'image Q *q* étant à rebours, celle R *r* sera debout, & terminée par la ligne droite qu'on tireroit de l'extrêmité *q* par le milieu du verre C, qui passeroit par le point *r*. Par conséquent les trois verres A, B, C ensemble, représentent l'objet O *o* en R *r*, & cette image R *r* est debout.

VI. Enfin, on n'a qu'à placer le dernier verre de façon que l'intervalle DR soit égal à sa distance de foyer; ce verre éloignera encore l'image R *r* à l'infini, comme en S *s*, dont l'extrêmité *s* sera déterminée par la ligne droite qu'on tireroit du milieu du verre D, par l'extrêmité *r*, & l'œil placé derriére ce ver-

re, verra effectivement l'image S *s* au lieu du véritable objet O *o*.

VII. De-là il eſt aiſé de juger combien de fois cette lunette compoſée de quatre verres, doit groſſir les objets; on n'a qu'à avoir égard aux deux couples de verres, AB & CD, dont chacune, ſéparément, feroit une lunette aſtronomique. La premiére paire de verres A & B groſſit autant de fois, que la diſtance de foyer du premier verre A ſurpaſſe celle du ſecond verre B; & c'eſt autant de fois que l'image, qui en eſt formée, Q *q*, eſt plus grande que le véritable objet O *o*.

VIII. Enſuite cette image Q *q* tenant lieu de l'objet par rapport à l'autre paire de verres C & D, elle ſera encore multipliée autant de fois, que la diſtance du verre C ſurpaſſe celle du verre D. Ces deux groſſiſſemens joints enſemble, fourniſſent le vrai groſſiſſement que les quatre verres produiſent.

IX. Si donc la premiére paire de verres A & B groſſiſſoit 10 fois, & l'autre paire de verres C & D trois fois; la lunette groſſiroit 3 fois 10 fois, c'eſt-à-dire, trente fois les objets; & l'ouverture du verre objectif A, doit répondre à ce groſſiſſement, ſelon la règle que j'ai établie ci-deſſus.

X. V. A. voit donc, que ſi l'on ôte d'une lunette terreſtre les deux derniers verres C & D, on aura une lunette aſtronomique, & que les deux verres C & D en feront une

aussi, desorte qu'une lunette terrestre est composée de deux lunettes astronomiques; & réciproquement, deux lunettes astronomiques jointes ensemble en produisent une terrestre.

Cette construction est susceptible d'une infinité de variations, les unes préférables aux autres, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite.

le 6 Avril 1762.

LETTRE CCXXII.

V. A. vient de voir comment, en ajoutant deux verres convèxes à une lunette astronomique, il en résulte une lunette terrestre qui nous répréſente les objets debout. Les quatre verres, dont une lunette terrestre est composée, sont susceptibles d'une infinité d'arrangemens diférens, tant par rapport à leurs distances, qu'à leurs foyers. Je vais expliquer *Tab. X. fig.* 1. les plus essentiels.

I. Par rapport à leurs distances, j'ai déja remarqué que celle des deux premiers verres AB est la somme de leurs distances de foyers, de même que celle des deux derniers verres CD, chaque paire pouvant être regardée comme une lunette simple, compo-

ſée de deux verres convèxes. Mais quelle doit être la diſtance entre les deux verres du milieu BC? Peut-elle être laiſſée à notre bon plaiſir? Puiſque, ſoit qu'on la prenne grande ou petite, le groſſiſſement, toujours compoſé des deux que chaque paire produiroit ſéparément, demeure le même.

II. En conſultant l'expérience, on appercevra bientôt, qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu, le champ apparent s'évanouït prèſque tout-à-fait, & c'eſt ce qui arrive encore quand on les éloigne trop. Dans l'un & l'autre cas, vers quelqu'objet qu'on dirige la lunette, on n'en découvre qu'une très-petite partie.

III. C'eſt pourquoi les artiſtes approchent ou éloignent la derniére paire de verres de la premiére, juſqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ, & ne fixent les verres qu'après avoir trouvé cette ſituation. Or ils ont obſervé que, dans cet arrangement le plus avantageux, la diſtance des verres du milieu B C, eſt toujours plus grande que la ſomme des diſtances de foyer de ces mêmes verres.

IV. V. A. jugera aiſément que cette diſtance ne dépend point du hazard, mais qu'elle tire ſa détermination de la théorie, & cela beaucoup plus éxactement que par la ſeule expérience. Comme c'eſt le devoir d'un phyſicien de rechercher la cauſe de tous les phénomènes que l'expérience nous décou-

vre, je vais donc expoſer les vrais principes qui nous fourniſſent la diſtance la plus avantageuſe BC entre les deux verres du milieu. Voyez *Tab. X. fig.* 2.

V. Puiſque tous les rayons doivent être conduits à l'œil, conſidérons la route de celui qui, venant de l'extrêmité *o* de l'objet viſible, paſſe par le milieu A du verre objectif: car ſi ce rayon n'eſt pas conduit dans l'œil, cette extrêmité *o* ne ſera pas viſible: or ce rayon ne ſouffre aucune réfraction dans le verre objectif, parcequ'il paſſe par ſon milieu A; il continuera donc ſa route en ligne droite juſqu'au ſecond verre, qu'il rencontrera à ſon extrêmité *b*, puiſque c'eſt le dernier rayon tranſmis par les verres.

VI. Ce rayon étant rompu par le ſecond verre changera de route, enſorte qu'il rencontrera quelque part en *n* l'axe des verres; ce qui arriveroit dans ſon foyer, ſi le rayon A*b* avoit été parallele à l'axe; mais puiſqu'il ſort du point A, ſa réunion avec l'axe en *n* ſera plus éloignée du verre B, que ſa diſtance de foyer.

VII. Maintenant il faut placer le troiſiéme verre C enſorte que le rayon, après avoir traverſé l'axe en *n*, le rencontre préciſément à ſon extrêmité *e*; d'où l'on voit que plus l'ouverture de ce verre C eſt grande, plus on doit le reculer du verre B, & plus la diſtance BC devient grande; mais de l'au-

tre côté, il faut bien ſe garder d'éloigner le verre C au-delà, puiſqu'alors le rayon lui échapperoit & n'en ſeroit plus tranſmis; c'eſt donc cette circonſtance qui détermine la juſte diſtance entre les deux verres du milieu BC, conformément à l'expérience.

VIII. Ce verre C produira une nouvelle refraction dans notre rayon, qui doit le conduire préciſément à l'extrèmité *d* du dernier oculaire D, qui, plus petit que C, rendra la ligne *cd* un peu convergente vers l'axe, & ſouffrira ainſi dans le dernier verre une réfraction telle, qu'il en eſt réuni avec l'axe à moins de diſtance que ſon foyer; & c'eſt là préciſément qu'il faut placer l'œil, pour recevoir tous les rayons tranſmis par les verres, & y découvrir le plus grand champ.

IX. On eſt en état par ce moyen de ſe procurer un champ, dont le diamètre eſt prèſque deux fois plus grand que dans les lunettes aſtronomiques du même groſſiſſement. On obtient donc par ces lunettes à quatre verres, l'avantage que les objets ſont repréſentés debout, & celui d'un plus grand champ; ce qui eſt d'une très-grande conſéquence.

X. Enfin il eſt poſſible de trouver un arrangement entre ces quatre verres tel, que ſans porter aucune atteinte aux avantages dont je viens de parler, les couleurs d'iris s'évanouïſſent entiérement, & que les objets y ſont repréſentés avec la plus grande

netteté. Mais peu d'artiſtes ſont capables d'atteindre à ce dégré de perfection.

le 10 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXIII.

Après ces recherches ſur la conſtruction des lunettes, je dois rendre compte à V. A. de quelques précautions très-néceſſaires qui, quoiqu'elles ne regardent ni les verres mêmes, ni leur arrangement, ne laiſſent pas d'être de la plus grande importance, deſorte que, ſi l'on ne les obſerve pas très-ſoigneuſement, la meilleure lunette devient tout-à-fait inutile. Il ne ſuffit pas d'arranger les verres de façon que tous les rayons qui y tombent, ſoient tranſmis au travers de ces verres dans l'œil, il faut outre cela empêcher que les rayons étrangers ne ſoient auſſi tranſmis par la lunette, afin qu'ils ne troublent point la repréſentation. Il faut donc prendre les précautions ſuivantes.

I, Les verres, dont une lunette eſt compoſée, doivent être enfermés dans un tuyau, afin que point d'autres rayons que ceux qui ſont tranſmis par l'objectif, ne puiſſent parvenir aux autres verres. Pour cet effet le tuyau doit être bien fermé partout, afin

qu'aucune lumiére ne puiſſe y entrer par quelque fente. S'il arrive par quelqu'accident que les tuyaux ſoient percés d'un trou, la lumiére étrangére qui y entre, étoufferoit la repréſentation des objets.

II. Il eſt auſſi fort important que l'intérieur du tuyau ſoit bien noirci partout, & même d'un noir très-foncé, puiſqu'on ſait que la couleur noire ne réflèchit point de rayons, quelque forte que ſoit la lumiére qui y tombe. Auſſi V. A. aura déja obſervé, que les tuyaux de lunettes ſont noircis en-dedans. Une ſeule réflèxion en fera voir la néceſſité.

III. L'objectif *Tab. X. fig.* 3. ne tranſmet pas ſeulement les rayons des objets que la lunette nous repréſente, mais auſſi ceux des côtés qui y entrent tout autour en grande abondance, tel eſt le rayon *ha* qui tombe en-dedans ſur le parois du tuyau en *i*; ſi donc le tuyau étoit blanc ou d'une autre couleur en-dedans il en ſeroit éclairé, & engendreroit par lui-même de nouveaux rayons de lumiére, qui ne manqueroient pas de traverſer les autres verres, & de troubler la viſion en ſe mêlant avec les propres rayons des objets.

IV. Mais ſi l'intérieur du tuyau eſt teint d'un noir bien foncé, il ne s'y forme point de nouveaux rayons quelqu'éclairé qu'il puiſſe être. Cette noirceur eſt néceſſaire par toute la longueur du tuyau, puiſqu'il n'y a point

de noir si foncé qui, étant éclairé, n'engendre quelque foible lumiére, ainsi, quand même quelques rayons étrangers passeroient par le second verre B, le noir du tuyau suivant les éteindroit aisément tout-à-fait. Il y a aussi un noir brillant, dont il faut bien se garder de se servir.

V. Mais ordinairement cette précaution n'est pas suffisante, on est encore obligé de garnir l'intérieur du tuyau d'un ou de quelques diaphragmes percés d'un petit trou, pour arrèter d'autant mieux la fausse lumiére; mais il faut bien prendre garde que ces diaphragmes n'excluent point les rayons des objets que la lunette doit nous représenter. Voyez la *fig*. 4. *Tab. X.*

VI. Il faut voir où les propres rayons des objets se trouvent le plus rétrècis dans le tuyau; ce qui arrive dans le lieu où les images y sont représentées; puisque les rayons sont tous réunis là ensemble. Or le verre objectif A représente l'image dans son foyer en M, on n'a donc qu'à estimer la grandeur de cette image & y mettre un diaphragme dont le trou *m m* lui soit égal, ou tant soit peu plus grand. Car si le trou étoit plus petit que l'image, on perdroit sur le champ apparent, ce qui feroit un grand défaut.

VII. C'est donc ce qu'il y auroit à observer sur le diaphragme dans les lunettes astronomiques composées de deux verres convèxes.

Dans

Dans les lunettes terreſtres il ſe trouve deux images repréſentées dans le tuyau ; outre la premiére en M repréſentée par l'objectif dans ſon foyer, & que le ſecond verre B transporte à l'infini, le troiſiéme verre C repréſente encore une image dans ſon foyer N qui eſt debout, celle-la étant renverſée. C'eſt donc en N qu'il convient de placer encore un nouveau diaphragme percé d'un trou *nn* de la grandeur de l'image qui s'y trouve.

VIII. Ces diaphragmes avec le noir de l'intérieur du tuyau produiſent auſſi un très-bon effet dans la netteté de l'apparition. Cependant il faut bien obſerver, que plus le champ que la lunette découvre eſt grand, moins on pourra s'attendre à ces diaphragmes ; puiſqu'alors les images deviennent plus grandes, deſorte que les trous des diaphragmes doivent être ſi grands, qu'ils ne ſauroient plus arrêter les faux rayons. Mais il faut alors d'autant plus ſoigneuſement bien noircir l'intérieur du tuyau, & le faire plus large, ce qui diminue beaucoup l'effet fâcheux dont je viens de parler.

le 13 Avril 1762.

LETTRE CCXXIV.

Je ne doute pas que V. A. ne ſoit fort aiſe de ſe voir enfin délivrée de la ſeche théorie des lunettes, qui n'a preſque d'autre agrément que celui de mener aux grandes découvertes qu'on a faites par leur ſecours.

Quelle ſurpriſe n'éprouve-t-on pas de voir les objets fort éloignés, auſſi bien que s'ils étoient cent & pluſieurs fois plus près de nous, ſur-tout lorſqu'il nous eſt impoſſible d'en approcher, comme il arrive par rapport aux objets céleſtes! & V. A. tombera aiſément d'accord, qu'à l'aide des lunettes, on a dû découvrir dans les étoiles des choſes bien merveilleuſes.

En voyant la lune cent fois plus proche qu'elle n'eſt effectivement, on peut y obſerver des inégalités très-curieuſes, comme des vallées & des hauteurs exceſſives, qui reſſemblent plutôt, par leur régularité, à des ouvrages conſtruits à deſſein qu'à des montagnes. L'on en tire un argument bien fort, pour prouver que la lune eſt habitée par des créatures raiſonnables, quoique la ſeule contemplation de la toute-puiſſance, jointe à la ſouveraine ſageſſe & bonté du créateur nous en fourniſſe de plus convaincans.

C'eſt ainſi qu'on a fait les découvertes les plus importantes ſur les planètes qui, à la ſimple vue, ne paroiſſent que des points lu-

mineux, mais qui, regardées à travers de bonnes lunettes, ressemblent à la lune, & paroissent même beaucoup plus grandes encore.

V. A. ne sera pas peu surprise, quand j'aurai l'honneur de l'assûrer qu'avec la meilleure lunette, qui grossit plus de 200 fois, les étoiles fixes ne laissent pas de nous paroître comme des points, & même plus petites encore qu'à la vue simple; ce qui est d'autant plus surprenant, qu'il est certain que la lunette nous les représente telles que nous les verrions, si nous en étions 200 fois plus près. Ne devroit-on pas en conclure que les lunettes perdent leur qualité à cet égard? Mais cette idée s'évanouït bientôt, quand on considère qu'elles nous découvrent des millions de petites étoiles qui échaperoient entiérement aux yeux sans leur secours. Aussi voyons nous les intervalles qui se trouvent entre les étoiles incomparablement plus grands; & deux étoiles qui, à la vue simple, paroissent presque se toucher, n'ont besoin que d'être regardées à travers la lunette, pour que l'on remarque entr'elles une distance considérable, ce qui prouve suffisamment l'effet de la lunette.

Quelle est donc la raison qui fait que les étoiles fixes nous paroissent plus petites à travers qu'à la vue simple? Pour répondre à cette question, je remarque d'abord que les étoiles fixes nous paroissent plus grandes à la vue simple qu'elles ne devroient, & que cela vient d'une fausse lumiére qui s'y joint, causée par

leur éclat. En effet, quand les rayons qui partent d'une étoile viennent en peindre l'image au fonds de l'œil sur la rétine, nos nerfs n'en sont frappés que dans un point, mais par l'éclat de la lumiére, les nerfs voisins en sont aussi ébranlés, & produisent le même sentiment que l'on éprouveroit si l'image de l'objet dépeint sur la rétine, étoit beaucoup plus grande. C'est ce qui arrive quand nous regardons de nuit une lumiére fort éloignée. Elle nous paroît beaucoup plus grande, & même plus que si nous la voyons de près; cet aggrandissement n'est causé que par une fausse lueur. Or plus une lunette grossit, plus cet accident doit diminuer, tant parceque les rayons souffrent quelqu'affoiblissement, que parceque la véritable image sur le fonds de l'œil devient plus grande: desorte que ce n'est plus un seul point qui soutient toute l'impression des rayons. Ainsi, quelque petites que nous paroissent les étoiles à travers une lunette, on peut prononcer hardiment, qu'à la vue simple, elles nous paroîtroient encore beaucoup plus petites sans cette fausse lumiére accidentelle, & cela autant de fois que la lunette grossit.

Il s'ensuit de-là que, puisque les étoiles fixes ne paroissent que comme des points, malgré qu'elles soient grossies 200 fois, leur éloignement doit être éxorbitant. Il sera fort aisé à V. A. de comprendre comment on peut estimer cette distance. Le diamètre du soleil nous paroît sous un angle de 32 minutes:

ſi donc le ſoleil étoit 32 fois plus éloigné, il paroîtroit ſous un angle d'une minute, & ainſi, beaucoup plus grand encore qu'une étoile vue par la lunette, dont le diamètre n'excède pas deux ſecondes ou la trentiéme partie d'une minute. Il faudroit donc que le ſoleil fût encore 30 fois plus, c'eſt-à-dire, 960 fois plus éloigné, avant qu'il ne nous parût pas plus grand qu'une étoile fixe obſervée avec le ſecours de la lunette. Or les étoiles ſont 200 fois plus éloignées de nous que la lunette ne nous les repréſente, & conſéquemment le ſoleil devroit être 200 fois 960, c'eſt-à-dire, 192000 fois plus éloigné qu'il n'eſt, avant que de ne pas nous paroître plus grand qu'une étoile fixe. Par conſéquent, ſi les étoiles fixes étoient des corps auſſi grands que le ſoleil, leurs diſtances ſeroient 192000 fois plus grandes que celle du ſoleil: ſi elles étoient encore plus grandes, leurs diſtances devroient être encore autant de fois plus grandes, & en les ſuppoſant même pluſieurs fois plus petites, leurs diſtances devroient toujours être plus de mille fois plus grandes que celle du ſoleil. Or la diſtance du ſoleil eſt environ de 15,000,000 milles d'Allemagne.

V. A. ne concevra pas ſans-doute, ſans le plus grand étonnement, cette diſtance prodigieuſe des étoiles fixes, & l'étendue entiére du monde. Quelle doit être la puiſſance de celui qui a créé cette immenſité, & qui en

eſt le maître abſolu? Adorons-le avec la plus profonde ſoumiſſion.

le 17 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXV.

V. A. aura bien déja remarqué que, lorſque la lune ſe lève, ou ſe couche, elle nous paroit beaucoup plus grande que lorſqu'elle ſe trouve au haut du ciel: & tout le monde convient de ce phénomène. On fait la même obſervation par rapport au ſoleil. Cette apparence a toujours embarraſſé les philoſophes, & de quelque maniére qu'on l'enviſage, on rencontre des difficultés prèſqu'inſurmontables.

Il ſeroit ridicule de vouloir en conclure que le corps de la lune ſoit en effet plus grand lorſqu'elle paroît dans l'horizon, que lorſqu'elle eſt plus élevée. Car, outre que cette idée ſeroit abſurde en elle-même, il faut conſidérer que, quand la lune nous paroît à l'horizon, elle paroît à d'autres habitans de la terre plus élevée & ainſi plus petite. Or il eſt impoſſible que le même corps ſoit, en même tems, plus grand & plus petit.

Il ſeroit prèſqu'auſſi ridicule d'expliquer cet étrange phénomène, en ſuppoſant que la lune ſoit plus près de nous lorſqu'elle nous pa-

roît dans l'horizon; que quand elle eſt fort élevée, par la certitude qu'un corps nous paroît d'autant plus grand qu'il eſt plus proche de nous, & V. A. ſait que plus un objet eſt éloigné, plus il nous paroît petit. C'eſt préciſément par cette raiſon que les étoiles nous paroiſſent ſi extrèmement petites, quoique leur véritable grandeur ſoit prodigieuſe.

Mais toute probable que ſemble cette idée, elle ne ſauroit avoir lieu. Il y a même plus de certitude que la lune eſt plus éloignée de nous lorſqu'elle ſe lève ou qu'elle ſe couche, que lorſqu'elle eſt plus élevée: en voici la demonſtration, *Tab. X. fig.* 5.

Soit le cercle ABD la terre, & que la lune ſe trouve en L. Cela poſé, un habitant en A verra la lune dans ſon zénith, ou au plus haut point du ciel. Or un autre habitant en D, où la ligne DL friſe la ſurface de la terre, verra la lune en même tems dans ſon horizon, deſorte que la lune paroîtra en même tems au ſpectateur A dans ſon zénith, & à l'autre ſpectateur D dans ſon horizon. Mais il eſt clair que la derniére diſtance DL eſt plus grande que la premiére AL, & par conſéquent la lune eſt plus éloignée de ceux qui la voyent à l'horizon, que de ceux qui la voyent près de leur zénith. Il s'enſuit ouvertement de-là, que la lune étant vue à l'horizon devroit nous paroître plus petite, puiſqu'elle eſt effectivement plus éloignée de nous, que lorſqu'elle eſt fort élevée. Il y a donc

à s'étonner que nous obſervions préciſément le contraire, & que la lune nous paroiſſe beaucoup plus grande, quand nous la voyons près de l'horizon, qu'au milieu du ciel.

Plus on approfondit ce phénomène, plus on le trouve étrange, & plus il mérite notre attention: puiſqu'il eſt certain que la lune étant plus éloignée à l'horizon devroit nous paroître plus petite, & que cependant tout le monde ſoutient unanimément qu'elle paroît alors conſidérablement plus grande. Cette contradiction eſt évidente, & ſemble même renverſer tous les principes établis dans l'optique, qui néanmoins ſont auſſi bien démontrés que ceux de la géomêtrie.

Je crois avoir mis dans tout ſon jour l'embarras où nous nous trouvons à cet égard, pour faire d'autant mieux ſentir à V. A. l'importance du véritable dénouement de cette grande difficulté. Sans entrer dans l'examen de ce jugement général de tous les hommes ſur la prodigieuſe grandeur de la lune dans l'horizon, je m'arrêterai à la queſtion principale: s'il eſt vrai que la lune étant près de l'horizon, nous paroît effectivement plus grande?

V. A. ſait qu'on a des moyens très-ſûrs de meſurer exactement les diamètres des corps céleſtes, en aſſignant le nombre des dégrés & des minutes qu'ils occupent dans le ciel: ou ce qui revient au même, en meſurant *Tab. X. fig. 6.* l'angle EOF que forment les lignes

EO & FO tirées des bouts oppoſés de la lune, à l'œil du ſpectateur O: & cet angle EOF eſt ce qu'on nomme le diamètre apparent de la lune. On a auſſi des inſtrumens très-propres à déterminer éxactement cet angle; or quand on s'en ſert pour meſurer le diamètre de la lune, d'abord à ſon lever & enſuite lorſqu'elle eſt montée bien haut dans le ciel, on trouve effectivement ſon diamètre un peu plus petit dans le premier cas que dans l'autre, comme l'inégalité des diſtances l'éxige. Il n'y a aucun doute à former ſur cet article; mais, par la même raiſon, notre difficulté au lieu de diminuer augmente, & l'on demandera avec d'autant plus d'empreſſement, pourquoi tout le monde juge la lune plus grande à ſon lever & à ſon coucher quoique ſon diamètre apparent ſoit alors effectivement plus petit? Et quelle eſt la raiſon de cet éblouïſſement général chez tous les hommes. L'aſtronome, qui ſait parfaitement que le diamètre apparent de la lune eſt plus petit alors, s'y trompe comme le payſan le plus ignorant.

le 20 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXVI.

V. A. n'auroit pas cru que la ſimple apparition de la lune fût aſſujettie à tant de difficultés; mais j'eſpère de les applanir par les réflèxions ſuivantes.

I. Il n'eſt pas étonnant que notre jugement ſur la grandeur des objets ne ſoit pas d'accord avec l'angle viſuel ſous lequel nous les voyons: l'expérience journaliére nous en fournit aſſez de preuves. Un chat, par éxemple, ſe préſente devant moi ſous un angle plus grand qu'un bœuf à la diſtance de 100 pas. Cependant je ne m'aviſerai pas de juger le chat plus grand que le bœuf: & V. A. voudra bien ſe ſouvenir que notre jugement ſur la grandeur des choſes eſt toujours très-intimément lié avec celui de la diſtance; deſorte que ſi nous nous trompons dans l'eſtime de la diſtance, notre jugement ſur la grandeur devient néceſſairement faux.

II. Pour mieux éclaircir ceci, il arrive quelquefois qu'une mouche paſſant ſubitement devant nos yeux, ſans que nous y penſions, ſi notre vue eſt fixée ſur des objets éloignés, nous imaginons d'abord que la mouche eſt fort éloignée de nous, & comme elle nous paroît ſous un angle aſſez conſidérable, nous la prenons au premier inſtant pour un gros oiſeau qui, dans l'éloignement, nous paroîtroit

ſous le même angle. Il eſt donc inconteſtable que notre jugement ſur la grandeur des objets ne ſe règle point ſur l'angle viſuel ſous lequel ils ſont vus, & qu'il y a une très-grande diférence entre la grandeur apparente des objets & la grandeur jugée ou eſtimée : la premiére ſe règle ſur l'angle viſuel, & l'autre dépend de la diſtance à laquelle nous jugeons que les objets ſont éloignés.

III. Pour profiter de cette remarque, j'obſerve que nous ne devrions pas dire, que nous voyons la lune plus grande à l'horizon, qu'à une hauteur conſidérable. Cela eſt abſolument faux, & nous la voyons même tant ſoit peu plus petite. Mais pour parler éxactement, il faut dire que nous jugeons & eſtimons la lune plus grande, lorſqu'elle ſe trouve dans l'horizon : & cela eſt vrai au pied de la lettre, du conſentement unanime de tout le monde. Cette remarque ſuffit pour diſſiper la contradiction rapportée ci-deſſus ; & rien n'empêche que la lune à ſon lever ou à ſon coucher ne puiſſe être jugée ou eſtimée plus grande, quoiqu'elle ſoit vue ſous un angle plus petit.

IV. Il ne s'agit donc plus d'expliquer pourquoi nous voyons la lune plus grande à l'horizon ; ce qui ſeroit impoſſible, puiſqu'elle nous paroît effectivement plus petite, comme on peut le prouver par la meſure de l'angle viſuel. La difficulté ſe réduit donc à cette queſtion : pourquoi jugeons-nous, ou eſti-

mons-nous la lune plus grande alors? Ou plutôt il faut rendre raiſon de cette eſtime bizarre. La choſe n'eſt plus ſurprenante en elle-même, puiſque nous connoiſſons mille cas où nous jugeons des objets fort grands, malgré que nous les voyons ſous de très-petits angles.

V. Nous n'avons donc qu'à dire que, lorſque la lune ſe lève ou ſe couche, nous la jugeons plus éloignée de nous, que lorſqu'elle eſt montée à une certaine hauteur. Dès qu'on convient de cette eſtime, quelle qu'en puiſſe être la cauſe, il s'enſuit néceſſairement que nous devons auſſi juger la lune d'autant plus grande. Car toujours, plus nous eſtimons qu'un objet eſt éloigné, plus nous préſumons qu'il eſt grand, & cela préciſément dans le même rapport. Dès que je m'imagine par quelqu'illuſion que ce ſoit, qu'une mouche qui paſſe devant mes yeux ſe trouve à la diſtance de 100 pas, je ſuis obligé, prèſque malgré moi, de la juger autant de fois plus grande, que 100 pas ſurpaſſent la véritable diſtance de la mouche à mes yeux.

VII. Nous voilà donc réduits à une nouvelle queſtion: pourquoi eſtimons-nous la lune plus éloignée de nous, lorſqu'elle ſe trouve dans l'horizon? Et pourquoi cette illuſion eſt-elle ſi générale, que perſonne n'en eſt éxemt? Car l'illuſion de s'imaginer que la lune ſoit alors beaucoup plus éloignée de nous eſt bien étrange. Il eſt bien vrai que la lune

eſt en effet alors un peu plus éloignée, comme je l'ai fait voir dans ma lettre précédente; mais la diférence eſt ſi petite qu'elle ne ſauroit être ſenſible. D'ailleurs, le ſoleil, quoique 100 fois plus éloigné que la lune, ne nous paroit pas tel, & notre vue rapporte même les étoiles fixes prèſqu'à la même diſtance.

VII. Ainſi, quoique la lune étant à l'horizon ſoit effectivement un peu plus éloignée, cette circonſtance n'entre pour rien dans la queſtion préſente, & cette eſtime univerſelle par laquelle tout le monde juge alors la lune à plus de diſtance qu'elle n'eſt réellement, doit être fondée ſur des raiſons tout-à-fait diférentes, & capables d'éblouïr tout le monde. Car puiſque cette eſtime eſt indubitablement fauſſe, il faut que les raiſons qui nous y déterminent, ſoient bien frappantes.

VIII. Pluſieurs philoſophes, pour expliquer ce phénomène, ont ſoutenu que la raiſon en étoit, que nous découvrons beaucoup d'objets entre nous & la lune, comme des villes, des villages, des forêts & des montagnes, ce qui eſt cauſe, ſelon eux, qu'elle nous paroit alors beaucoup plus éloignée; au lieu que lorſqu'elle eſt fort élevée, nous n'obſervons aucun corps entr'elle & nous; ainſi, diſent-ils, elle doit nous paroître plus près. Mais cette explication, quelqu'ingénieuſe qu'elle ſemble au premier coup d'œil, ne ſauroit être admiſe. En regardant la lune dans l'horizon par quelque trou qui nous cache les objets

intermédiaires, elle ne laiſſe pas de nous paroître plus grande. Outre cela, nous n'eſtimons pas toujours que les objets, entre leſquels nous découvrons pluſieurs autres corps, ſoient plus éloignés. Une grande ſalle, par éxemple, tout-à-fait vuide, nous paroît ordinairement plus étendue, que ſi elle eſt remplie de monde, malgré la quantité d'objets que nous voyons alors entre nous & les murailles.

le 24 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXVII.

Nous voilà donc encore fort éloignés de l'explication de cette illuſion univerſelle pour tous les hommes, ſans exception, que la lune paroît beaucoup plus grande dans l'horizon, que quand elle eſt fort élevée. J'ai déja remarqué que ce phénomène eſt d'autant plus bizarre, que le diamètre apparent de la lune eſt même alors tant ſoit peu plus petit: deſorte qu'on devroit dire que nous ne voyons pas alors la lune plus grande, mais que nous la jugeons telle.

Auſſi ai-je obſervé que, très-ſouvent, notre jugement difère beaucoup de la viſion même. Nous n'héſitons pas, par éxemple, de juger qu'un cheval éloigné de 100 pas eſt plus

grand qu'un chien à un pas de diſtance; quoique la grandeur apparente du chien ſoit ſans contredit plus grande, ou, ce qui revient au même, quoique l'image du chien dépeinte au fonds de l'œil, ſoit plus grande que celle du cheval. Notre jugement dans ces cas a égard à la diſtance, & jugeant le cheval beaucoup plus éloigné que le chien, nous décidons qu'il eſt beaucoup plus grand.

Il eſt donc très vraiſemblable que la même circonſtance a lieu dans la viſion de la lune, & nous fait juger la lune plus éloignée dans l'horizon, que lorſqu'elle eſt fort élevée. A l'égard du cheval, ce jugement de la diſtance étoit fondé ſur la vérité, mais ici, comme il eſt abſolument faux, c'eſt une illuſion étrange, qui doit pourtant avoir un certain fondement, puiſque tout le monde en convient, & qu'on ne ſauroit l'attribuer au caprice. En quoi peut-il conſiſter? C'eſt ce dont je vais entretenir V. A.

I. Tout le monde ſe repréſente le bleu du ciel comme une voute applatie, dont le ſommet eſt beaucoup plus près de nous que le bas, où elle ſe confond avec l'horizon. Ainſi, un homme placé ſur une plaine AB *Tab. X. fig. 7.* qui s'étend auſſi loin que ſa vue, apperçoit la voute du ciel, qu'on nomme communément firmament, ſous la figure AEFB, où les diſtances CA & CB ſont beaucoup plus grandes que celle du zénith à C.

II. Cette idée eſt auſſi, ſans contredit, une très-grande illuſion, puiſque rien n'eſt borné ou fermé au-deſſus de nous par une telle voute. C'eſt un vuide d'une étendue immenſe, puiſqu'il va juſqu'aux étoiles fixes les plus éloignées, dont la diſtance ſurpaſſe toute la force de notre imagination. Je me ſers du mot vuide, pour l'oppoſer aux corps groſſiers de la terre. Car, près de la terre, c'eſt notre atmoſphère qui occupe l'eſpace, &, plus loin, c'eſt cette matiére beaucoup plus ſubtile qu'on nomme *l'éther*.

III. Cependant, quelqu'imaginaire que ſoit cette voute, elle eſt très-réelle dans notre imagination, & tous les hommes, ſavans & idiots, ſont dans la même illuſion. C'eſt prèſque à la ſurface de cette voute que nous nous repréſentons le ſoleil & la lune avec toutes les étoiles, comme des clous brillans qui y ſont attachés; & malgré la connoiſſance que nous avons du contraire, nous ne ſaurions nous défendre de cette idée illuſoire.

IV. Cela poſé, lorſque la lune ſe trouve à l'horizon, notre imagination la rapporte au point A ou B de cette voute prétendue, & c'eſt par-là que nous eſtimons alors ſa diſtance d'autant plus grande, que nous jugeons la ligne CA ou CB plus grande que CZ. Mais quand, en montant, elle s'approche du zénith, nous penſons qu'elle s'ap-

s'approche de nous, & ſi elle atteignoit le zénith, nous la croirions alors à ſa plus petite diſtance.

V. L'illuſion ſur la diſtance entraine néceſſairement celle ſur la grandeur. Puiſque la lune en A nous paroît beaucoup plus éloignée de C, que dans le zénith, nous ſommes en quelque maniére forcés d'en conclure, que la lune même eſt d'autant plus grande; & cela en même raiſon que la diſtance CA nous paroît ſurpaſſer celle CZ. Tous les hommes ne feront peut-être pas trop d'accord ſur cette proportion; l'un dira que la lune lui paroît deux fois plus grande à l'horizon, un autre trois fois, & la plûpart ſe déclareront pour le milieu entre deux & trois; mais tous ſe réuniront pour la choſe même.

VI. Il eſt à propos de remettre à cette occaſion ſous les yeux de V. A. la démonſtration de cette conſéquence: comment le jugement de la grandeur eſt une ſuite néceſſaire de l'eſtime de la diſtance.

Quand la lune eſt près de l'horizon, nous la voyons *Tab. X. fig.* 8. ſous un certain angle, lequel ſoit MCA, le ſpectateur étant en C: & quand elle eſt fort élevée, ſoit NCD l'angle ſous lequel nous la voyons. Il eſt très-certain que ces deux angles MCA & NCD ſont bien à-peu-près égaux entr'eux, la diférence étant inſenſible.

VII. Mais dans le premier cas, puiſque nous

estimons la lune beaucoup plus éloignée; soit à la ligne CA, en la rapportant à la voute imaginaire décrite ci-dessus; il s'ensuit que nous estimons le diamètre de la lune égal à la ligne MA. Mais dans l'autre cas la distance de la lune CD nous paroît beaucoup plus petite, & par conséquent, puisque l'angle NCD est égal à MCA, la grandeur estimée DN sera beaucoup plus petite que AM.

VIII. Pour ne laisser aucun doute sur ceci, on n'a qu'à couper les lignes C*d*, C*n* égales aux lignes CD & CN, & puisque dans les deux triangles C*dn* & CDN les angles en C sont égaux, les triangles mêmes le sont aussi, & par conséquent la ligne DN sera égale à *dn*; or *dn* est visiblement plus petite que AM & cela autant de fois que la distance *cd* ou CD est plus petite que CA. V. A. doit donc comprendre clairement ce qui nous fait estimer la lune plus grande à l'horizon que près du zénith.

le 29 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXVIII.

V. A. me reprochera sans-doute, que je viens d'expliquer une illusion par une autre qui n'est pas moins bizarre: elle m'objectera

que la voute imaginaire du ciel eſt auſſi inconcevable que l'aggrandiſſement apparent de la lune & des autres aſtres près de l'horizon. Cette objection eſt trop bien fondée, pour que je ne doive pas expliquer à V. A. la véritable raiſon de ce que le ciel nous paroît ſous la forme d'une voute applatie par le haut. Je vais tâcher de m'en acquiter par les réflêxions ſuivantes.

I. Pour rendre raiſon de cette voute imaginaire, il faut dire que cela vient de ce que les objets céleſtes, que nous voyons près de l'horizon, nous paroiſſent plus éloignés que ceux que nous voyons près du zénith ; & c'eſt ſans-doute une pétition de principe très-formelle, que les logiciens ont droit de rejetter, comme un vice inſupportable dans nos raiſonnemens. En effet, après avoir dit plus haut que la voute imaginaire du ciel nous fait paroître la lune plus éloignée à l'horizon que près du zénith, il eſt ridicule de dire, que ce qui nous fait imaginer cette voute, eſt que les objets horizontaux nous paroiſſent plus éloignés que les verticaux.

VII. Il n'étoit cependant pas inutile de parler de cette voute imaginaire, quoique nous n'en ſoyons pas plus avancés pour cela ; & quand j'aurai expliqué pourquoi les objets céleſtes nous paroiſſent plus éloignés lorſque nous les voyons près de l'horizon, V. A.

comprendra en même tems la raiſon de cette double illuſion univerſelle, dont l'une eſt l'aggrandiſſement apparent des aſtres dans l'horizon, & l'autre la voute applatie du ciel.

III. Tout revient donc à expliquer pourquoi les objets céleſtes vus à l'horizon, nous paroiſſent plus éloignés que lorſqu'ils ſe trouvent à quelque hauteur conſidérable : je dis maintenant que c'eſt parceque ces objets nous paroiſſent moins brillans : ce qui m'impoſe la double tâche de montrer, pourquoi ces objets brillent avec moins d'éclat vers l'horizon, & d'expliquer comment cette circonſtance entraine néceſſairement le jugement d'une plus grande diſtance. J'eſpère de remplir l'une & l'autre à la ſatisfaction de V. A.

IV. Le phénomène même ne ſauroit être révoqué en doute. Quelque grand que ſoit vers midi l'éclat du ſoleil, que perſonne ne ſauroit fixer alors, V. A. ſait que le matin & le ſoir lorſqu'il ſe lève ou qu'il ſe couche, on peut le regarder ſans en avoir la vue incommodée; & la même choſe arrive par rapport à la lune & à toutes les étoiles, dont l'éclat eſt extrèmement affoibli dans le voiſinage de l'horizon. Auſſi ne voit-on pas les plus petites étoiles quand elles ne ſont que peu élevées au-deſſus de l'horizon, tandis qu'on les voit aſſez diſtincte-

ment lorſqu'elles ſont parvenues à une certaine hauteur.

V. Ce fait ſuffiſamment conſtaté, il s'agit de découvrir la cauſe de cet affoibliſſement de lumiére. Il eſt aſſez clair que nous ne ſaurions la chercher que dans la nature de notre atmoſphère, ſoit l'air qui environne la terre, en tant qu'il n'eſt pas parfaitement tranſparent. Car s'il l'étoit, deſorte que tous les rayons y fuſſent tranſmis ſans ſouffrir aucune diminution, il n'eſt pas douteux que les étoiles devroient toujours briller avec le même éclat, en quelque lieu du ciel qu'elles ſe trouvaſſent.

VI. Mais l'air, matiére beaucoup moins déliée & moins ſubtile que l'éther dont la tranſparence eſt parfaite, eſt toujours chargé de particules hétérogènes qui s'y élèvent de la terre, telles que les exhalaiſons & les vapeurs, & qui ſont nuiſibles à ſa tranſparence; enſorte que ſi quelque rayon rencontre une telle particule, il en eſt intercepté & prêſqu'éteint. Auſſi eſt-il évident que, plus l'air eſt chargé de ces particules qui ſont des obſtacles à la tranſmiſſion de la lumiére, plus les rayons doivent s'y perdre, & V. A. ſait qu'un brouillard fort épais dépouille l'air de prêſque toute ſa tranſparence, tellement que, ſouvent, on ne peut plus diſtinguer les objets à trois pas de diſtance.

VII. Que les points marqués dans la *fig.* 9. *Tab.* X. repréſentent de telles parcelles parſemées dans l'air, dont le nombre eſt plus ou moins grand, ſelon que l'air eſt plus ou moins ſerein. Il eſt évident que pluſieurs des rayons qui traverſent cet eſpace doivent ſe perdre, & que la perte ſera d'autant plus grande, que le trajet qu'ils ont à parcourir dans cet air, ſera grand. Nous voyons donc que les objets éloignés deviennent inviſibles dans un brouillard, pendant que ceux qui ſont fort près de l'œil ſont encore apperçus, parceque les rayons des premiers rencontrent en chemin un plus grand nombre de parcelles qui les arrêtent.

VIII. Il faut en conclure que, plus le trajet que les rayons des aſtres ont à faire dans l'atmoſphère pour parvenir à nos yeux eſt long, plus leur perte ſoit affoibliſſement doit être conſidérable. V. A. n'aura plus là-deſſus le moindre doute. Il reſte donc ſimplement à prouver, que les rayons des étoiles que nous voyons près de notre horizon, ont un chemin beaucoup plus long à parcourir dans notre atmoſphère, que lorſqu'elles ſe trouvent plus près de notre zénith. V. A. comprendra ſûrement alors, pourquoi les aſtres paroiſſent beaucoup moins brillans près de l'horizon, à leur lever & à leur coucher. Ce ſera le ſujet de la lettre ſuivante.

le 1 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXIX.

Ce que je viens d'avancer, que les rayons des aſtres qui ſe trouvent à l'horizon ont plus de chemin à parcourir dans notre atmoſphère, paroitra peut-être bien paradoxe à V. A. vu que l'atmoſphère s'étend par-tout à la même hauteur, deſorte qu'en quelque lieu que ſe trouve une étoile, ſes rayons doivent toujours pénétrer de toute ſa hauteur avant que de parvenir à nos yeux. J'eſpère que les réflèxions ſuivantes diſſiperont ſes doutes.

I. Il faut d'abord ſe former une idée juſte de l'atmoſphère qui environne la terre. Pour cet effet, le cercle intérieur ABCD *Tab. X. fig.* 10. repréſente la terre, & l'extérieur ponctué *abcd* termine l'atmoſphère. Remarquons que, par-tout, à meſure que l'air s'élève au-deſſus de la ſurface de la terre, il devient toujours plus ſubtil & plus rare : deſorte qu'il ſe perd enfin inſenſiblement avec l'éther qui remplit tous les eſpaces céleſtes.

II. L'air le plus groſſier, le plus chargé des parcelles qui éteignent les rayons de lumiére, ſe trouve par-tout en bas près de la ſurface de la terre. Il devient donc plus rare en montant, moins nuiſible à la lumiére; & il eſt déja ſi ſubtil à la hauteur d'un mille d'Allemagne qu'il ne ſauroit plus cauſer de perte ſenſible à la lumiére. On peut donc fixer la

diſtance entre le cercle intérieur & extérieur d'environ un mille, tandis que le demi-diamètre de la terre en contient environ 860 : de-ſorte que la hauteur de l'atmoſphère eſt fort peu de choſe rélativement à la grandeur du globe de la terre.

III. Conſidérons maintenant *Tab. X. fig.* 11. un ſpectateur en A ſur la ſurface de la terre ; & tirant du centre de la terre G par A la ligne GZ elle ſera dirigée vers le zénith du ſpectateur. La ligne AS, qui y eſt perpendiculaire & qui touche la terre, ſera horizontale pour lui. Conſéquemment, il verra une étoile en Z dans le zénith ou au ſommet du ciel, mais une étoile en S lui paroîtra dans l'horizon à ſon lever ou à ſon coucher. Rien n'empêche que nous ne regardions chaque étoile comme infiniment éloignée de la terre, quoique je n'aie pu l'exprimer dans la figure.

IV. V. A. n'a qu'à jetter les yeux ſur cette figure, elle verra que les rayons partant de S ont un trajet beaucoup plus long à faire dans l'atmoſphère, que ceux de l'étoile Z, avant d'atteindre le ſpectateur en A. Ceux de l'étoile Z n'ont qu'à traverſer la hauteur de l'atmoſphère *a*A qui eſt à-peu-près d'un mille, & ceux de l'étoile S doivent parcourir tout le chemin *b*A, viſiblement beaucoup plus long ; & ſi la figure pouvoit mieux répondre à la vérité, deſorte que le rayon GA fût 860 fois plus long que la hauteur A*a*, on verroit que la diſtance A*b* ſurpaſſeroit 40 milles.

V. Auſſi eſt-il bon de remarquer que les rayons de l'étoile Z n'ont qu'un très-petit eſpace à parcourir par la baſſe atmoſphère, qui eſt la plus chargée de vapeurs, au lieu que les rayons de l'étoile S y font un trajet très-conſidérable, & ſont obligés de ramper, pour ainſi dire, ſur la ſurface de la terre. Il eſt donc très-naturel de conclure que les rayons de l'étoile en Z ne ſouffrent prèſqu'aucun affoibliſſement, & que ceux de l'étoile S doivent être prèſqu'éteints, à cauſe du grand trajet qu'ils ont à parcourir dans l'air groſſier.

VI. Il eſt donc inconteſtable que les aſtres que nous voyons à l'horizon, doivent paroître avec un éclat extrêmement affoibli. Et V. A. comprendra fort aiſément pourquoi nous pouvons fixer ſans peine les yeux ſur le ſoleil levant ou couchant, tandis qu'à midi, que le ſoleil eſt haut, ſon éclat eſt inſupportable. Voilà le premier article que je m'étois propoſé de démontrer: il me reſte à prouver l'autre; ſavoir, que c'eſt l'affoibliſſement de la lumiére qui nous force prèſque à nous repréſenter les corps céleſtes comme beaucoup plus éloignés de nous, que ſi nous les voyons dans leur éclat.

VII. Il faut en chercher la raiſon dans les objets terreſtres que nous voyons tous les jours, & ſur la diſtance deſquels nous formons un jugement. Mais par la même raiſon que les rayons, en paſſant par l'air, ſouf-

frent quelqu'affoibliſſement, il eſt clair que, plus un objet eſt éloigné de nous, plus il perd de ſa clarté, & plus il en perd plus il nous paroît obſcur. Ainſi une montagne fort éloignée nous paroît très-ſombre, mais ſi nous en approchons aſſez, nous diſtinguons facilement les arbres, ce qui n'eſt pas poſſible à un grand éloignement.

VIII. Cette obſervation ſi générale qui ne nous trompe jamais dans les objets terreſtres, a produit en nous, dès notre jeuneſſe, ce principe fondamental par lequel nous jugeons les objets d'autant plus éloignés, que les rayons qui nous en viennent ont été affoiblis. C'eſt donc en vertu de ce principe que nous eſtimons la lune beaucoup plus éloignée de nous à ſon lever ou à ſon coucher, que quand elle a déja atteint une hauteur conſidérable; & par la même raiſon, nous la jugeons d'autant plus grande. Je me flatte que V. A. trouvera ces raiſons parfaitement bien fondées, & ce phénomène bizarre auſſi bien éclairci qu'il ſoit poſſible.

le 4 Mai 1762.

LETTRE CCXXX.

Le principe de notre imagination, par lequel je viens d'expliquer ce phénomène de la lune beaucoup plus grande près de l'horizon qu'au

milieu du ciel, eſt tellement enraciné dans notre eſprit, qu'il eſt la ſource de mille autres illuſions, dont je me contenterai de mettre quelques-unes ſous les yeux de V. A.

Dès notre jeuneſſe, nous nous ſentons entrainés comme malgré nous, à juger les objets d'autant plus éloignés, que leur éclat eſt plus affoibli: &, d'un autre côté, les objets fort brillans nous paroiſſent plus proches qu'ils ne le ſont. Cette illuſion ne peut venir que d'une imagination peu règlée, qui nous mene très-ſouvent à faux. Elle nous eſt néanmoins ſi naturelle, & elle eſt ſi univerſelle, qu'il n'y a perſonne qui ſoit maître de s'en garantir, quoique l'erreur, qui en réſulte, ſoit ſouvent très-manifeſte, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A. par rapport à la lune: mais nous ſommes trompés encore en quantité d'autres occaſions dont je vais développer quelques-unes.

I. C'eſt une illuſion fort connue que, de nuit, le feu d'une incendie nous paroît beaucoup plus proche qu'il n'eſt effectivement. La raiſon en eſt bien claire: le feu brille avec un très-grand éclat, & ſelon le principe établi de notre imagination, nous l'eſtimons toujours plus près qu'il n'eſt.

II. C'eſt ainſi qu'une grande ſalle dont les parois ſont bien blanchis, nous paroît toujours plus petite. V. A. ſait que le blanc eſt de la couleur la plus brillante: nous eſtimons

donc les murailles de cette ſalle trop proches de nous, & par conſéquent l'étendue apparente en eſt diminuée.

III. Or dans une ſalle dont les murailles ſont couvertes de drap noir, ſuivant l'uſage des grands deuils, nous éprouvons un effet entiérement contraire. Une chambre nous paroît alors beaucoup plus ſpacieuſe qu'elle n'eſt effectivement: le noir eſt ſans-doute la couleur la plus ſombre, puiſqu'elle ne renvoye prèſqu'aucune lumiére dans nos yeux; c'eſt pourquoi il nous ſemble que les parois noirs ſont beaucoup plus éloignés de nous qu'ils ne le ſont en effet. Une chambre dont on couvre les murailles de toile noire paroîtra donc plus grande; & ſi, au contraire, on les fait bien blanchir, elle paroîtra plus petite.

IV. Perſonne ne profite mieux de cette illuſion ſi naturelle & ſi commune à tous les hommes que les peintres. V. A. ſait que le même tableau nous repréſente des objets dont quelques-uns paroiſſent extrêmement éloignés, pendant que d'autres ſemblent fort proches; & c'eſt en quoi conſiſte la plus grande reſſource d'un habile peintre. Il eſt bien ſurprenant que, malgré que nous ſachions très-certainement que toutes les repréſentations d'un tableau ſont exprimées ſur la même ſurface, & ainſi à-peu-près à une égale diſtance de nos yeux, nous n'en ſoyons pas moins trompés, & que nous jugions les

unes fort loin & les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un mêlange adroit de lumiére & d'ombre, qui fournit effectivement aux peintres les plus grands secours. Mais V. A. n'a qu'à considérer un tableau, pour s'appercevoir que les objets qui doivent nous paroître fort éloignés, sont exprimés foiblement & assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous appercevons bien, par éxemple, des personnes, mais sans que nous puissions en distinguer les yeux, le nez, ni la bouche; & c'est conformément à cette apparence que le peintre représente les objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, & prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéamens du visage, les plis de l'habit &c. cette représentation semble pour ainsi dire sortir alors du tableau, tandis que d'autres y paroissent enfoncées & fort reculées.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion qu'est fondé tout l'art de la peinture. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art ne sauroit plus avoir lieu dans toutes ses parties, pas plus que si nous étions aveugles. Le peintre auroit beau faire valoir tout son talent dans le mêlange des couleurs, nous dirions, voilà sur cette table,

ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là quelques lignes blanchâtres: tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, ainsi, aucun objet réel ne sauroit être représenté de cette maniére: on ne sauroit alors le regarder autrement que comme une écriture sur le papier, & l'on se fatigueroit peut-être inutilement à vouloir déviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Ne serions nous pas fort à plaindre dans cet état de perfection, d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art si amusant & si instructif.

le 8 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXI.

V. A. vient de comprendre la cause de l'illusion par laquelle la lune, ainsi que le soleil, nous paroît beaucoup plus grande dans l'horizon, qu'à une hauteur considérable, consistant en ce que nous estimons alors ces corps plus éloignés de nous, estime fondée sur ce que leur lumiére souffre alors un affoiblissement considérable, par le long trajet qu'elle fait à travers l'atmosphère dans la basse région, qui est la plus chargée de vapeurs & d'exhalaisons qui diminuent la transparence. Tel est le ré-

ſumé des réflèxions que j'ai eu l'honneur de propoſer à V. A. ſur ce ſujet.

Cette qualité de l'air qui diminue ſa tranſparence, pourroit ètre regardée au premier coup-d'œil comme un défaut. Mais ſi nous en conſidérons les ſuites, nous trouvons que, bien loin que c'en ſoit un, nous devons au contraire y reconnoître la ſageſſe & la bonté infinie du créateur. C'eſt à cette impureté de l'air que nous ſommes redevables du ſpectacle merveilleux & raviſſant que nous offre le bleu du ciel; car les particules opaques qui arrètent les rayons de lumiére, en ſont éclairées, & nous renvoyent enſuite leurs propres rayons, produits dans leur ſurface par un trémouſſement violent, comme il arrive dans tous les corps opaques. Or c'eſt le nombre de vibrations qu'elles reçoivent qui nous repréſente ce magnifique bleu. Cette circonſtance mérite bien que je la développe clairement.

I. J'obſerve d'abord que ces particules ſont extrèmement petites & fort éloignées entr'elles, outre qu'elles ſont très-déliées, & prèſque tout-à-fait tranſparentes. De-là vient que chacune ſéparément n'eſt abſolument point perceptible, & que nous ne pouvons en ètre affectés que quand un très-grand nombre envoye ſes rayons à la fois, & prèſque ſelon la mème direction, dans nos yeux. Il faut donc la réunion des rayons de pluſieurs, pour exciter une ſenſation.

II. Il en ſuit donc clairement que celles de ces particules qui ſont près de nous, échappent

à nos ſens, puiſqu'il faut les conſidérer comme des points diſperſés par la maſſe de l'air.

Mais celles qui ſont fort éloignées de l'œil, comme *Tab. XI. fig.* 1. les points *a*, *b*, *c*, réuniſſent dans l'œil, prèſque ſelon la mème direction, leurs rayons qui, par là, deviennent aſſez forts pour frapper notre vue, ſur-tout quand on conſidère que des particules ſemblables plus éloignées *e*, *f*, *g*, *h*, ainſi que d'autres plus voiſines, concourent à produire cet effet.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le ciel, lorſqu'il eſt ſérein, n'eſt donc autre choſe que le réſultat de toutes ces particules diſperſées dans l'atmoſphère, & principalement de celles qui ſont fort éloignées de nous; on peut donc bien dire qu'elles ſont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrèmement clair, qui ne devient aſſez foncé & ſenſible, que lorſqu'elles ſont en très-grand nombre, & qu'elles joignent enſemble leurs rayons ſelon la mème direction.

IV. L'art produit un effet ſemblable. Si, en diſſolvant une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau, on laiſſe tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture, & ſi l'on en verſe dans un petit gobelet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-foible. Mais qu'on en rempliſſe un grand vaſe, & qu'on le regarde de loin, on y voit un bleu très-foncé. La même expérience peut ſe faire avec d'autres couleurs. C'eſt ainſi

ainsi que le vin de Bourgogne en très-petite quantité, paroît à peine un peu rougeâtre, & que dans une grande phiole bien remplie, la couleur rouge paroîtra très-foncée.

V. L'eau, dans un bassin grand & profond, paroît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité soit tout-à-fait claire & limpide. Cette couleur est ordinairement plus ou moins verdâtre; ce qui fait dire que les derniéres particules de l'eau le sont aussi, mais d'une couleur extrêmement déliée; desorte qu'il faut en regarder un grand volume, avant de s'en appercevoir, parceque les rayons de plusieurs particules se joignent alors ensemble pour produire cet effet.

VI. Comme il paroît probable par cette observation, que les derniéres particules de l'eau sont verdâtres, on pourroit soutenir que la même raison par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac & d'un étang, nous paroissent vertes, est celle par laquelle le ciel nous paroît bleu. Car il est plus vraisemblable que toutes les particules de l'air ayent une légére teinture de bleu, mais si foible qu'elle ne s'apperçoit que quand on regarde une masse immense, comme toute l'étendue de l'atmosphère, qu'il ne l'est d'attribuer cette couleur aux vapeurs qui voltigent dans l'air & qui n'y appartiennent pas.

VII. En effet, plus l'air est pur & dégagé d'exhalaisons, plus le bleu du ciel a d'éclat; ce qui prouve suffisamment, qu'il faut en chercher la raison dans les particules propres de

l'air. Les matiéres étrangéres qui s'y mêlent, comme les exhalaisons, deviennent au contraire nuisibles à ce beau bleu, & ne font qu'en altérer l'éclat. Lorsque ces vapeurs chargent trop l'air, elles causent ici-bas des brouillards, & nous dérobent entiérement le spectacle de la couleur bleue; si elles sont plus élevées, comme cela arrive ordinairement, il s'en forme des nuages qui couvrent souvent le ciel tout entier, & nous offrent une couleur toute autre que ce bleu de l'air pur; c'est donc une nouvelle qualité de l'air, outre celle de la subtilité, de la fluidité & de l'élasticité que j'ai eu déja l'honneur d'exposer à V. A., c'est-à-dire, que les derniéres particules de l'air, sont bleuâtres de leur nature.

le 11 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXII.

Indépendamment du beau spectacle du bleu du ciel dont nous fait jouïr cette teinture de l'air qui nous environne, nous serions bien malheureux s'il étoit parfaitement transparent & dépouillé de ces particules bleuâtres; mais c'est encore un nouveau sujet pour nous de reconnoître & admirer la bonté infinie & la sagesse du Créateur.

Supposons, pour en convaincre parfaitement V. A., que l'air soit tout-à-fait transparent &

ſemblable à l'éther, qui, comme nous le ſavons, tranſmet tous les rayons des étoiles ſans en arrêter aucun & ne contient point de particules éclairées elles-mêmes par les rayons, parcequ'une telle particule ne ſauroit l'être ſans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air ſe trouvoit dans cet état, les rayons du ſoleil le traverſeroient librement, ſans qu'aucune lumiére en fut renvoyée dans nos yeux: nous ne recevrions que les rayons qui viennent immédiatement du ſoleil. Le ciel entier, excepté le lieu où eſt le ſoleil, nous paroîtroit donc tout-à-fait obſcur, &, au lieu de ce bleu brillant, nous n'y découvririons en regardant en haut, qu'un noir très-foncé & la nuit la plus obſcure.

La *fig.* 2. *Tab. XI.* repréſente le ſoleil, & le point O eſt un ſpectateur dont l'œil ne recevroit d'autres rayons d'en haut que du ſoleil, deſorte que toute la clarté ſeroit renfermée dans le petit angle E O F. En portant ſa vue vers une autre région du ciel comme vers M, on n'en recevroit aucun rayon, & il en ſeroit comme ſi l'on regardoit dans un lieu entiérement obſcur; or tout endroit qui n'envoie aucuns rayons de lumiére eſt noir. Je fais abſtraction des étoiles dont le ciel eſt rempli; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui ſe trouvent dans cette région, n'y entrent, & ils auroient même d'autant plus de force, qu'ils ne ſouffriroient aucun affoibliſſement par l'atmoſphere, telle

que je viens de la ſuppoſer. On verroit donc toutes les étoiles en plein jour, comme dans la nuit la plus obſcure; mais il faut conſidérer que ce plein jour ſe réduiroit au ſeul petit angle E O F, tout le reſte du ciel étant auſſi obſcur que la nuit.

Cependant, près du ſoleil, les étoiles nous ſeroient inviſibles, & nous ne verrions point, par exemple, l'étoile N; puiſqu'en la regardant, notre œil recevroit en même tems les rayons du ſoleil, deſquels il ſeroit frappé ſi vivement, que la foible lumiére de l'étoile ne ſauroit y exciter de ſenſations. Je ne parle pas de l'impoſſibilité qu'il y auroit à tenir l'œil ouvert; en voulant regarder vers N; cela eſt trop ſenſible pour ne pas être entendu.

Mais en oppoſant au ſoleil un corps opaque qui en interceptât les rayons, on ne manqueroit pas de voir l'étoile N, quelque proche qu'elle fut du ſoleil: V. A. comprendra aiſément dans quel triſte état nous ſerions alors. Ce voiſinage du plus grand éclat & des ténèbres les plus ſombres bleſſeroit notre vue, au point, que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous reſſentons en paſſant ſubitement d'un lieu obſcur dans un autre fort éclairé.

C'eſt donc à ce grand inconvénient que remèdie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant ſoit peu opaques & ſuſceptibles d'illumination. Alors, dès que le ſoleil ſe lève au-deſſus de l'horizon, & même déja

un peu auparavant, toute l'atmoſphère en devient éclairée, & nous préſente ce beau bleu dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A.; deſorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Auſſi, en regardant vers M *fig.* 2. *Tab. XI.*, appercevons nous une très-grande clarté; ſoit ce bleu brillant du ciel.

Cette même clarté nous empêche de voir les étoiles pendant le jour: la raiſon en eſt évidente. Elle ſurpaſſe de beaucoup celle des étoiles, & une grande clarté en fait diſparoître une plus petite; or les nerfs de la rétine au fonds de l'œil, étant déja frappés par une lumiére très-forte, ne ſeroient plus ſenſibles à la foible impreſſion des étoiles.

V. A. doit ſe rappeller que le clair de la pleine lune eſt plus de 300,000 fois plus foible que celui du ſoleil, pour ſe convaincre que la clarté qui nous vient des étoiles n'eſt rien en comparaiſon de celle du ſoleil. Or la clarté du ciel pendant le jour eſt déja ſi éclatante, que quoique le ſoleil ſoit couvert, elle ſurpaſſe encore pluſieurs mille fois celle de la pleine lune.

V. A. aura bien apperçu que, de nuit, lorſque la lune eſt pleine, les étoiles paroiſſent beaucoup moins brillantes, & qu'on ne voit que les plus grandes, ſur-tout dans ſon voiſinage, deſorte qu'une grande lumiére étouffe toujours une plus foible.

C'eſt donc un très-grand avantage que no-

tre atmoſphère commence à être éclairée par le ſoleil, avant même qu'il ſe lève, parceque cela nous diſpoſe à ſoutenir la vivacité de ſon éclat, qui ſeroit inſupportable, ſi le paſſage de la nuit au jour étoit ſubit. Le tems pendant lequel l'atmoſphère devient éclairée avant le lever du ſoleil, & conſerve encore de la clarté après le coucher, s'appelle crépuſcule. Ce ſujet mérite par ſon importance, d'être bien conſidéré, & je me propoſe d'en entretenir plus amplement V. A. C'eſt ainſi qu'un article de phyſique en amène un autre.

le 15 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXIII.

POUR expliquer la cauſe des crépuſcules, ou de cette clarté du ciel qui précède le lever du ſoleil & qu'on voit après ſon coucher, V. A. n'a qu'à ſe rappeller ce que j'ai déja eu l'honneur de lui dire touchant l'horizon & l'atmoſphère.

Que le cercle AOBD *Tab. XI. fig.* 3. repréſente la terre, & le cercle ponctué *aobd* l'atmoſphère: conſidérons un lieu ſur la terre O, par laquelle on tire une ligne droite HORI qui touche la terre en O, & cette ligne HI repréſentera l'horizon qui ſépare la partie du ciel qui nous eſt viſible de celle qui ne l'eſt

pas. Dès que le ſoleil atteint cette ligne, il paroît donc dans l'horizon en ſe levant ou en ſe couchant, & toute l'atmoſphère en eſt alors éclairée. Mais ſuppoſons que le ſoleil, avant que de ſe lever, ſe trouve encore au-deſſous de la terre en S; d'où le rayon STR friſant la terre en T, puiſſe atteindre le point de l'atmoſphère ſitué dans notre horizon, & les particules opaques qui s'y trouvent en feront déja éclairées, &, par conſéquent, nous deviendront viſibles. Ainſi, quelque tems déja avant le lever du ſoleil, l'atmoſphère *b o* R ſur notre horizon commence à être éclairée en R, &, à meſure que le ſoleil s'approche de l'horizon, une plus grande partie en ſera éclairée, juſqu'à-ce qu'elle devienne tout-à-fait lumineuſe.

Cette conſidération me conduit à un autre phénomène autant intéreſſant, qui lui eſt très-étroitement lié, c'eſt que l'atmoſphère nous fait encore appercevoir le ſoleil & les autres aſtres, quelque tems avant qu'ils ſe lèvent au-deſſus de notre horizon, & quelque tems après leur coucher, par la réfraction que les rayons ſouffrent en paſſant de l'éther pur dans l'air groſſier qui conſtitue notre atmoſphère; je vais en donner l'explication.

I. Les rayons de lumiére ne continuent leur route en ligne droite, qu'entant qu'ils ſe meuvent dans un milieu tranſparent de la même nature. Dès qu'ils paſſent d'un milieu dans un autre, ils ſont détournés de

leur route rectiligne, & leur chemin devient comme rompu; c'est ce que l'on nomme la réfraction, dont j'ai eu l'honneur d'entretenir assez long-tems V. A. en expliquant comment les rayons, en passant de l'air dans le verre, & réciproquement, souffrent une réfraction.

II. Or l'éther & l'air étant deux milieux diférens, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air, il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi l'arc du cercle AMB *Tab. XI. fig.* 4. terminant notre atmosphère en haut, si un rayon de lumiére MS de l'éther y tombe en M, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite MN, mais il prendra, en entrant dans l'air, la route MR un peu diférente de MN, & l'angle NMR est nommé l'angle de réfraction ou simplement la réfraction.

III. J'ai déja remarqué que la réfraction est d'autant plus grande, que le rayon SM tombe plus obliquement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle BMS est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon SM tomboit perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle BMS fut droit, il n'y auroit point de réfraction; mais le rayon continueroit sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions, de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

IV. Que l'arc de cercle AOB *Tab. XI. fig.* 5. repréſente la ſurface de la terre, & que l'arc EMF termine l'atmoſphère. Si l'on tire en O la ligne OMV qui touche la ſurface de la terre en O, elle ſera horizontale. Et ſi le ſoleil ſe trouve encore au-deſſous de l'horizon en S, deſorte qu'il nous ſoit encore inviſible, puiſqu'aucun de ſes rayons ne pourroit arriver juſqu'à nous en ligne droite, le rayon SM, étant continué en ligne droite, paſſeroit au-deſſus de nous en N; mais comme il tombe en M ſur l'atmoſphère, & très-obliquement, l'angle FMS étant très-petit, il y ſouffrira une réfraction aſſez conſidérable; &, au lieu de paſſer en N, il pourra parvenir préciſément en O, deſorte que le ſoleil nous ſoit déja viſible quoiqu'il ſe trouve encore au-deſſous de l'horizon, ou, ce qui revient au même, au deſſous de la ligne horizontale OMV.

V. Cependant, comme le rayon MO qui entre dans nos yeux eſt horizontal, nous rapportons dans notre jugement le ſoleil à la même direction, & nous nous imaginons qu'il ſe trouve en V, ou dans l'horizon, quoiqu'il ſoit au-deſſous. Et réciproquement, toutes les fois que nous voyons le ſoleil, ou tout autre aſtre, dans l'horizon, nous devons juger qu'il eſt au-deſſous, ſelon l'angle SMV, que les aſtronomes ont obſervé être d'environ demi-dégré, ou, plus éxactement, de 32 minutes.

VI. Au matin, nous voyons donc le ſoleil avant qu'il atteigne notre horizon, lorſqu'il en eſt encore diſtant d'un angle de 32 minutes; & le ſoir encore longtems après ſon vrai coucher; puiſque nous le voyons encore juſqu'à ce qu'il ſoit deſcendu à un angle de 32 minutes. On nomme vrai lever ou coucher du ſoleil, lorſqu'il ſe trouve dans l'horizon, mais lorſqu'il commence à paroître le matin ou à diſparoître le ſoir, c'eſt le lever ou coucher apparent.

VII. Cette réfraction de l'atmoſphère, qui fait que le lèver apparent du ſoleil précède ſon veritable lèver, cette réfraction, dis-je, nous procure l'avantage de jouïr de jours plus longs qu'ils ne feroient ſans cet effet de l'atmoſphère. Voilà donc l'explication d'un phénomène bien important.

le 18 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXIV.

V. A. aura compris cet effet ſingulier de notre atmoſphère, par lequel nous voyons le ſoleil & tous les autres corps céleſtes dans l'horizon, quoiqu'encore plongés au-deſſous, enſorte qu'ils feroient inviſibles pour nous ſans la réfraction. C'eſt par la même raiſon que le ſoleil & toutes les étoiles, nous paroiſſent

toujours plus élevés au-dessus de l'horizon qu'ils ne le sont effectivement; ce qui fait que l'on doit distinguer soigneusement la hauteur apparente d'une étoile, de la véritable á laquelle elle paroîtroit, s'il n'y avoit point d'atmosphère. Je vais mettre ceci dans tout son jour.

I. Que l'arc AOB *Tab. XI. fig. 6.* soit une partie de la surface de la terre, & O le lieu où nous nous trouvons, par lequel on tire une ligne droite HOR qui touche la surface de la terre, & cette ligne HOR nous indiquera le véritable horizon. Ou, qu'on érige en O verticalement la ligne droite OZ; qui est la même qu'un fil suspendu & chargé d'un poids indiqué. Cette ligne est nommée ici verticale, & le point du ciel Z auquel elle aboutit, porte le nom de zénith. Or cette ligne OZ est perpendiculaire sur l'horizontale HOR, desorte que l'une étant connue on peut aisément déterminer l'autre.

II. Cela posé, soit *Tab. XI. fig. 7.* une étoile en S, & s'il n'y avoit point d'atmosphère, le rayon SMO passeroit en ligne droite à l'œil O, & nous la verrions dans la même direction OMS, où elle se trouve actuellement, ou bien nous la verrions dans son véritable lieu. On mésure alors l'angle SOR que fait le rayon SO avec l'horizon OR, & cet angle est nommé la hauteur de l'étoile ou son élévation au-dessus de l'ho-

rizon. Ou bien on mésure l'angle S O Z que fait le rayon S O, avec la ligne verticale OZ, dirigée vers le zénith, & puisque l'angle Z O R est droit, ou de 90 dégrés, on n'a qu'à soustraire l'angle S O Z de 90 dégrés, pour avoir l'angle SOR qui donne la véritable hauteur de l'étoile.

III. Tenons maintenant compte de l'atmosphère que je suppose terminée par l'arc HDNMR, & je remarque d'abord que le rayon précédent de l'étoile SM en entrant en M dans l'atmosphère, ne continue pas sa route vers l'œil en O, mais qu'il prendra à cause de la réfraction un autre chemin comme NP, & n'entrera point par conséquent dans nos yeux; desorte que si l'étoile ne lançoit vers la terre que ce rayon SM, elle nous seroit absolument invisible. Or il faut considérer que chaque point lumineux darde ses rayons en tous sens, & que tout l'espace en est rempli.

IV. Il se trouvera donc parmi les autres quelque rayon comme SN, qui est rompu ou réfracté au haut de l'atmosphère en N; ensorte que sa continuation N O passe précisément à l'œil O. Le rayon réfracté N O ne se trouve donc pas en ligne droite avec celui SM, & si l'on continue NO vers *s*, la continuation N*s* fera un angle avec le rayon N S, savoir l'angle SN*s* qui est le même qu'on nomme la réfraction, & qui est d'autant plus grand, que l'angle SNR,

ſous lequel le rayon SN entre dans l'atmoſphère, eſt plus aigu, comme je l'ai remarqué dans la lettre précédente.

V. Par conſéquent c'eſt le rayon NO qui dépeint dans nos yeux l'image de l'étoile S & qui nous la rend viſible; & comme ce rayon nous vient dans la direction N O, comme ſi l'étoile s'y trouvoit, nous jugeons auſſi l'étoile ſituée dans la direction NO, ou bien dans ſa continuation quelque part en *s*. Ce lieu *s* étant diférent du véritable S, on nomme *s* le lieu apparent de l'étoile, qu'il faut bien diſtinguer du véritable lieu S, où nous verrions l'étoile s'il n'y avoit point d'atmoſphère.

VI. Puis donc que nous voyons l'étoile par le rayon NO, l'angle NOR que fait ce rayon NO avec l'horizon, eſt la hauteur apparente de l'étoile; & quand on meſure, par le moyen des inſtrumens propres à cette opération, l'angle NOR, on dit qu'on a trouvé la hauteur apparente de l'étoile; la hauteur véritable étant, comme nous venons de le voir, l'angle ROS.

VII. De-là il eſt évident que la hauteur apparente RON eſt plus grande que la hauteur véritable ROM; deſorte que les étoiles nous paroiſſent plus élevées au-deſſus de l'horizon qu'elles ne le ſont en effet, par la même raiſon, que les étoiles nous paroiſſent déja dans l'horizon, quand elles ſont encore

au-dessous. Or l'excès dont la hauteur apparente surpasse la véritable, est l'angle M O N qui ne difère pas de l'angle SN*s* qu'on nomme la réfraction. Car, quoique l'angle SN*s*, comme étant l'externe au triangle SNO, soit égal aux deux internes opposés SON & NSO pris ensemble, il faut considérer qu'à cause du terrible éloignement des étoiles, les lignes OS & NS sont paralleles, & conséquemment l'angle OSN s'évanouït, desorte que l'angle SON est presque égal à l'angle de réfraction SN*s*.

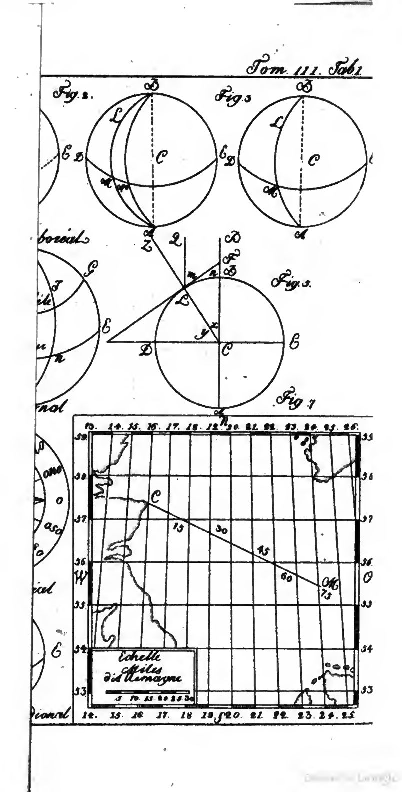
VIII. Ayant donc trouvé la hauteur apparente d'une étoile, il faut en retrancher la réfraction, pour avoir sa véritable hauteur, qu'il n'est pas possible de connoître autrement que par ce moyen. Pour cet effet, les astronomes se sont donné beaucoup de peine, afin de découvrir éxactement la réfraction qu'il faut retrancher de chaque hauteur apparente, ou dont il faut baisser davantage le lieu apparent de l'étoile pour le véritable.

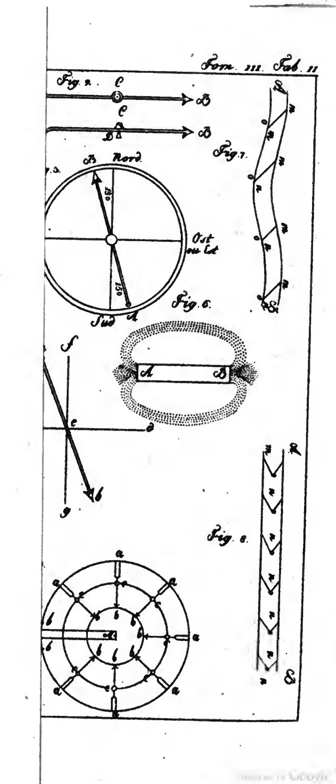
IX. Après une longue suite d'observations, ils ont enfin dressé une table, qu'on nomme la table de réfraction, qui marque pour chaque hauteur apparente la réfraction ou l'angle qu'il faut retrancher. Ainsi, lorsque la hauteur apparente est nulle, ou que l'étoile paroit dans l'horizon, la réfraction est de 32 minutes dont il faut baisser l'étoile sous l'horizon. Mais pour peu que l'é-

toile paroiſſe élevée au-deſſus de l'horizon, la réfraction devient beaucoup moindre. A la hauteur de 15 dégrés elle n'eſt plus que de 4 minutes, à la hauteur de 40 dégrés elle n'eſt que d'une minute, & pour de plus grandes hauteurs, elle devient toujours plus petite, juſqu'à ce qu'elle s'évanouïſſe entiérement à la hauteur de 90 dégrés.

X. C'eſt ce qui arrive lorſqu'une étoile eſt vue dans le zénith même; car ſa hauteur eſt alors de 90 dégrés, & la hauteur véritable eſt la même que l'apparente; & nous ſommes bien aſſûrés qu'une étoile que nous voyons dans le zénith s'y trouve réellement, & que la réfraction de l'atmoſphère n'en change point la place, comme dans toutes les autres ſituations.

FIN.


Fig. 2.
Fig. 3
Fig. 5.
Fig. 7
boréal
C
M
Echelle
Miles d'Allemagne
5 10 15 20 25 30
W
O
15
30
45
60
75
13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26.
12. 15. 16. 17. 18 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25.
59
58
57
56
55
54
53


Fig. 2.
C
B
C
D
B
Fig. 7.
Nord
Ost ou Est
150
150
Sud
A
Fig. 6.
A
B
f
e
d
b
g
Fig. 8.
a
b
c
S

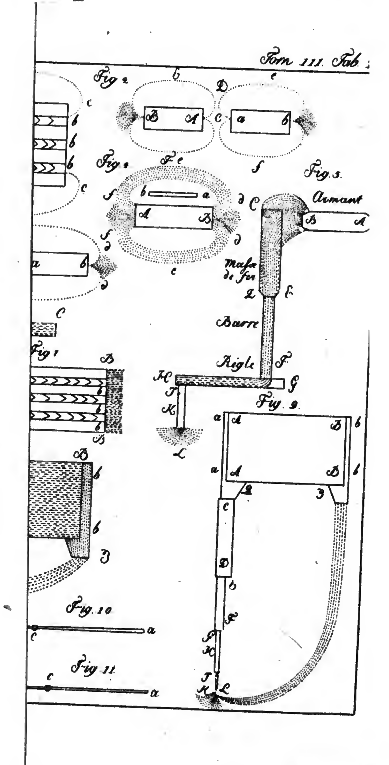

Fig. 2
Fig. 5.
Armant
Masse de Fer
Barre
Regle
Fig. 9.
Fig. 10
Fig. 11.

Fig. 2.

Fig. 4 N

Fig. 3.

Fig. 6.

O P

P

Q

Fig. 10.

R

S

Fig. 9.

A

m m

B

F

p

q

B A M

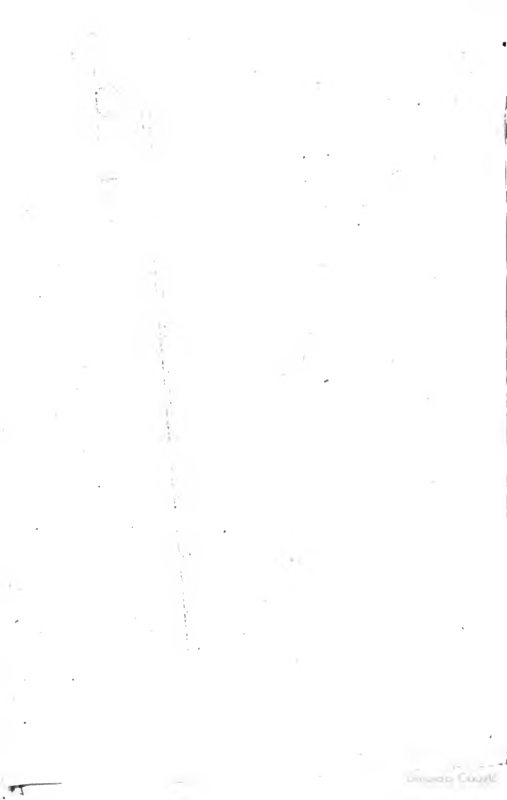
n

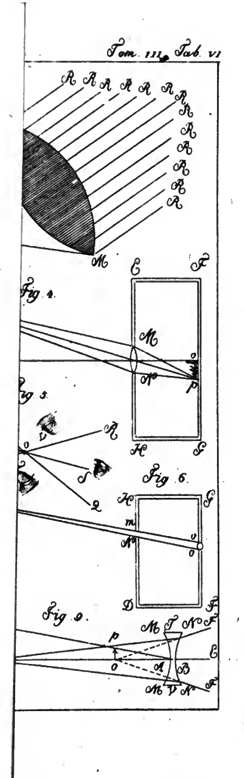
B

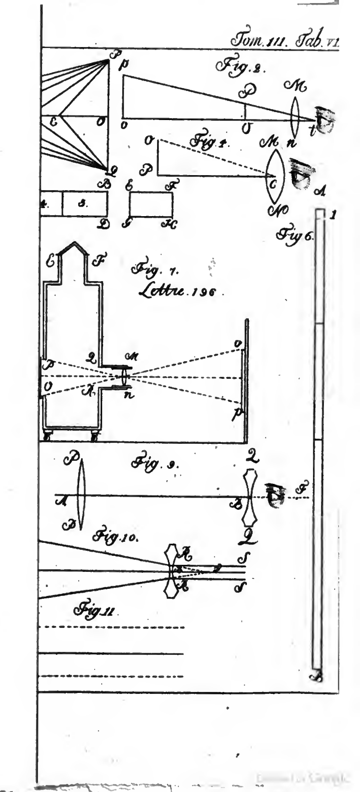
K T

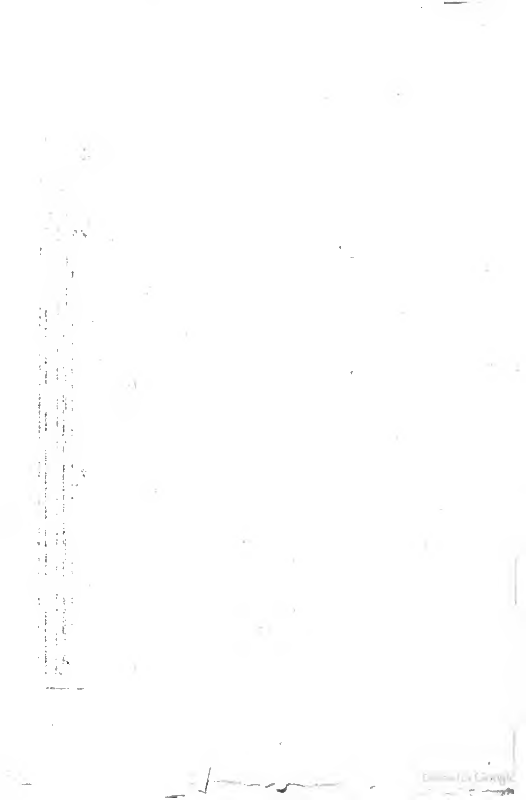
r

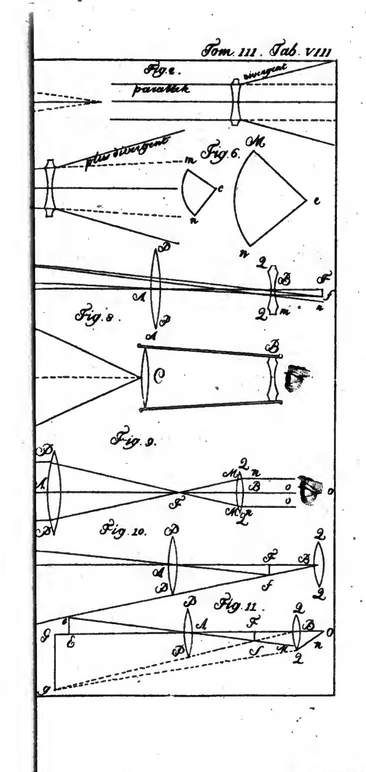
Q Q S R

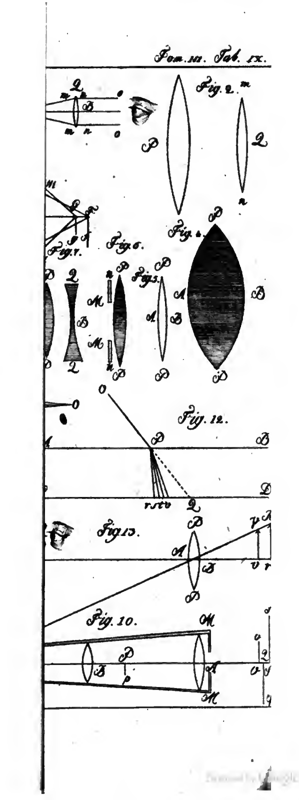


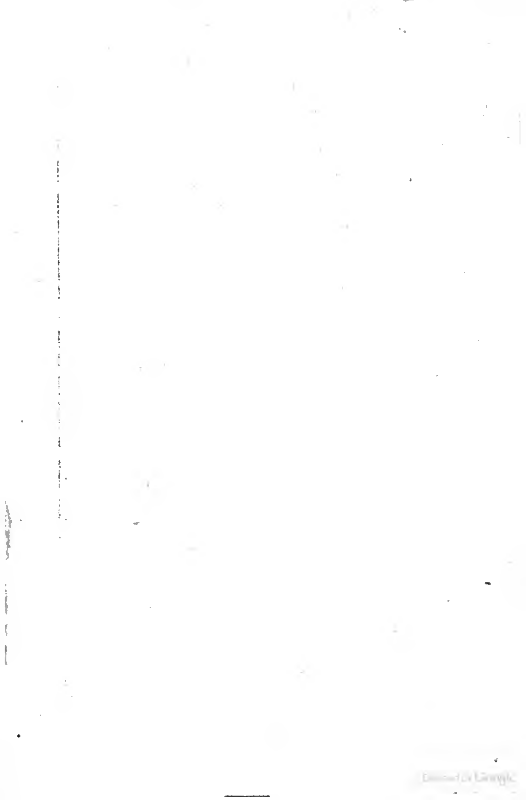

R
M
E
F
Fig. 4.
M
o
N
p
Fig. 5.
R
v
o
S
Q
H
G
Fig. 6.
H
G
m
N
v
o
D
F
Fig. 9.
M
T
N
F
p
E
o
A
B
M
V
N
R

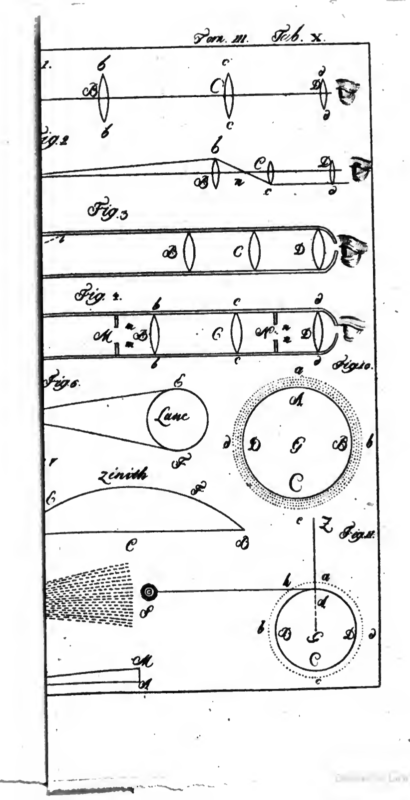

Fig. 2.
Fig. 4.
Fig. 6.
Fig. 7.
Lettre. 196.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.

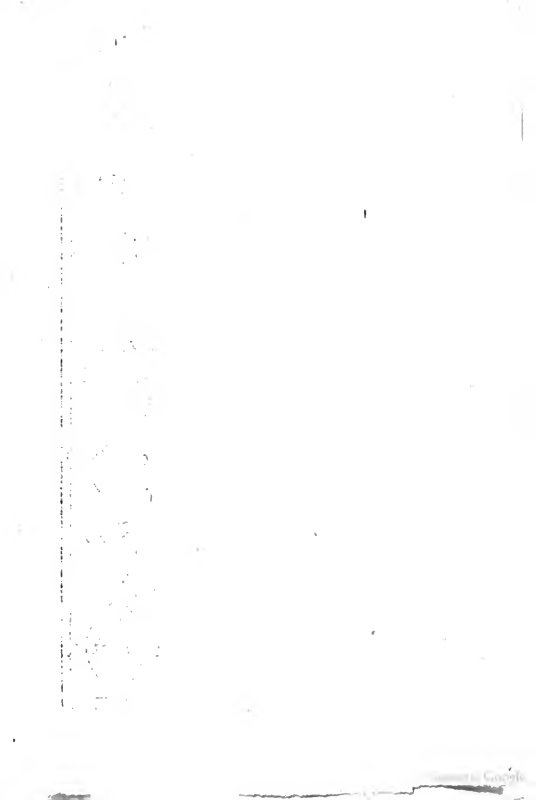


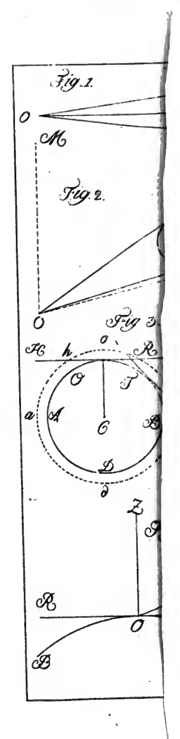

Fig. 2.
parallele
divergent
plus divergent
Fig. 6.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.


Fig. 2.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 10.




Fig.2
Fig.3
Fig. 4.
Fig.10.
Fig.6.
Lune
zenith
Fig.11.




Fig. 1.
O
M
Fig. 2.
O
Fig. 3.
H
h
o
R
O
T
a
A
C
B
D
d
Z
R
O
B



